Über die Abhängigkeit der Höhe des pflanzenaufnehmbaren Nährstoffkapitals von der Dynamik des Bodens.

Besonders untersucht
an Hand von Nährstoffbestimmungen nach Mitscherlich.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Horst Plate
aus Magdeburg

Halle (Saale) 1937

Druckerei u. Verlag wissenschaftlicher Werke Konrad Triltsch, Würzburg

Referent:

Prof. Dr. F. Scheffer.

Korreferent:

Prof. Dr. Th. Roemer.

Tag der mündlichen Prüfung:

24. Juni 1936.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Über den Einfluß der Bodenverdünnung mit Sand auf die Höhe des pflanzenaufnehmbaren Nährstoffkapitals . . . 1

1. Die Nährstoffaufnahme als Wechselwirkung der beiden dynamischen Systeme Boden und Pflanze 1

2. Der Einfluß der Sandbeimischung auf die Höhe der Nährstoffaufnahme im Keimpflanzenversuch nach Neubauer und in Gefäßversuchen 2

3. Der Einfluß der Boden-Sand-Mischung auf das Ergebnis nach Mitscherlich 7

B. Zusammenfassung 36

Literatur 38

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548123_0086

A. Über den Einfluß der Bodenverdünnung mit Sand auf die Höhe des pflanzenaufnehmbaren Nährstoffkapitals.

1. Die Nährstoffaufnahme als Wechselwirkung der beiden dynamischen Systeme Boden und Pflanze.

Die völlige Umstellung unseres bodenkundlichen Denkens in den letzten 2—3 Jahrzehnten, die am besten gekennzeichnet ist durch die Definitionen Mitscherlichs (1913), nämlich, daß der Boden „der Standort der Pflanzen" (1), und Wiegners (1917), daß „der Boden ein kolloidales dynamisches System" sei (2), brachte auch eine vollkommen andere Anschauung über die Vorgänge und Bedingungen der Nährstoffaufnahme der Pflanzen aus dem Boden mit sich.

Bildlich ausgedrückt ringen bei jeder Nährstoffaufnahme, sei es im freien Felde, im Gefäß- oder Keimpflanzenversuch, die kolloidalen Systeme Boden und Pflanze um die ihnen zur Verfügung stehenden Nährstoffe. Denn nur einen Teil der vorhandenen Nährstoffe liefert der Boden freiwillig, und zwar den bereits in der Bodenlösung vorhandenen. Der Hauptteil der Nährstoffe muß erst durch chemische, physikalische oder kolloidchemische Kräfte der Pflanze in Lösung gebracht werden.

Nach Vageler und Alten (3) entnimmt die Pflanze die Nährstoffe der Bodenlösung, den Sorptionsbestandteilen des Bodens und schließlich den vorhandenen mineralischen Bestandteilen. Doch ist die Nährstoffaufnahme aus den Komplexen und Mineralien keine direkte, sondern geschieht auf dem Umweg über die Bodenlösung.

Während also die Pflanze die in der Bodenlösung enthaltenen geringen Nährstoffmengen direkt und leicht aufnehmen kann, muß sie die Nährstoffreserven im Komplex und den mineralischen Bestandteilen erst unter eigenem Kräfteeinsatz aktivieren, d. h. in Lösung bringen. Gelingt es in diesem Kampf der Pflanze, ohne zu starken Energieeinsatz die fehlenden Nährstoffe dem Boden zu entreißen, so kommt sie zur vollen Entwicklung. In gewisser Beziehung ist die Pflanze in diesem Kampf durch ihr weit verzweigtes Wurzelsystem, durch die ständige Erneuerung ihrer zur Ionen-

aufnahme freien Kräfte infolge der schnellen Fortführung der aufgenommenen Ionen im Säftestrom und durch ihre Assimilationstätigkeit dem System Boden überlegen. Andererseits ist sie aber wieder durch ihre engen Zustandsbedingungen als lebende Substanz benachteiligt.

Aus diesem „Kampf" um die Nährstoffe und auch um das Wasser geht nämlich die Pflanze nicht immer als „Sieger" hervor. Als Folge davon stellen sich daraufhin Mangelerscheinungen ein, und die Pflanze beginnt zu kümmern.

Man kann dann zwar durch künstliche Düngung die zu schwer aufnehmbaren Nährstoffe zu ersetzen versuchen; aber in vielen Fällen wird es genügen, wenn man das System Pflanze durch Schaffung besserer Standortsverhältnisse und Wachstumsbedingungen stärkt und es dadurch in den Stand setzt, sich mehr Nährstoffe anzueignen.

Es ist daher auch mit die Aufgabe des Ackerbaues, durch geeignete Kulturmaßnahmen und durch die Verbesserung ihrer Lebensbedingungen die Pflanze in ihrem Bestreben nach Erlangung genügender Nährstoffmengen zu unterstützen.

Wo natürlich keine oder nur sehr geringe Nährstoffmengen im Boden vorhanden sind, kann man auch mit solchen Kulturmaßnahmen nichts mehr für die Pflanze erreichen. Es müssen dann hier auf jeden Fall außerdem noch Nährstoffe künstlich hinzugeführt werden.

2. Der Einfluß der Sandbeimischung auf die Höhe der Nährstoffaufnahme beim Keimpflanzenversuch nach Neubauer und in Gefäßversuchen.

Besonders anschaulich wird dieser Kampf zwischen Pflanze und Boden im Neubauer-Keimpflanzenversuch. Die jungen Roggenkörner entwickeln in den ersten Tagen ihres Wachstums ein ausgedehntes aktives Wurzelsystem, das gerade während seiner ersten Entwicklung eine außerordentlich starke Nährstoffaufnahmefähigkeit besitzt. Wenn dann später ein Nachlassen und ein Stillstand in der Nährstoffaufnahme eintritt, so ist dies nicht damit zu erklären, daß nun wohl der Boden an Nährstoffen erschöpft ist, sondern es ist gerade umgekehrt: Die Pflanze hat i h r e Kräfte erschöpft und ist nicht mehr imstande, weitere Nährstoffe aufzunehmen. Ein Beweis für die letztere Anschauung dürfte wohl sein, daß ein nach Neubauer mehrere Male hintereinander angesetzter Boden beim zweiten und dritten Male mitunter fast dieselben Werte liefert, wie bei einmaliger Untersuchung.

Diesen Befund wird man dadurch erklären, daß 100 Roggenkörner stets eine bestimmte H'-Ionenmenge (x) aktivieren, die ihrerseits wieder eine äquivalente Kationenmenge (y) in Freiheit setzt. Die H'-Ionen aktivieren also sooft eine entsprechende Kationenmenge aus dem Boden, bis dessen Vorrat daran erschöpft

ist. Jede Verschiebung des Kräftesystems Boden/Pflanze führt zu einer Änderung des aufnehmenbaren Nährstoffkapitals „b". In diesem Falle ist also durch eine stetige Erneuerung der Kräfte des Systems Pflanze der Boden bis zu seiner fast völligen Entblößung von Nährstoffen ausgenutzt worden.

Versuche von Kroß (4) zeigen, daß auch die Zahl der Roggenpflanzen im Neubauerversuch in Beziehung zur Höhe des aufnehmbaren Nährstoffkapitals steht:

Übersicht 1				Übersicht 2			Übersicht 3		
Roggenkörner		Aufnahme		Körnerzahl	Aufnahme		100 Körner wogen g	Aufnahme	
Zahl	mittleres Gewicht g	K_2O mg	P_2O_5 mg		K_2O mg	P_2O_5 mg		K_2O mg	P_2O_5 mg
50	1,8	8,7	5,6	83— 89	32,0	5,5	3,05	35,3	12,7
100	3,7	10,8	6,5	97— 99	33,6	5,8	3,60	45,5	18,3
200	7,4	10,9	6,4	107—110	34,5	7,4			

Werden durch eine steigende Körnerzahl zwar nur geringe Mengen an Nährstoffen mehr aufgenommen als bei einer geringeren Zahl, so zeigen doch diese Versuche und auch andere Untersuchungen (5), daß tatsächlich eine größere Pflanzenzahl aus der gleichbleibenden Bodenmenge mehr Nährstoffe herausholt. Allerdings nimmt diese Steigerung nur bis zu einer bestimmten Pflanzenzahl je Bodeneinheit zu.

Aus Untersuchungen von Neubauer (6) und Kroß (7) geht aber auch weiterhin hervor, daß die höhere Nährstoffaufnahme durch die Keimpflänzchen nicht nur durch die absolute Zahl, sondern vielmehr auch durch die Masse, das Gewicht der Roggenkörner bedingt wird.

Diese Zahlen Neubauers zeigen, daß die Masse der gesäten 100 Körner für die Stärke der Nährstoffaufnahme sehr wesentlich ist. 3,60 g Körner erzeugen 3,60 x H Ionen und setzen damit mehr y Ionen in Freiheit als 3,05 x H Ionen.

Dieser Befund ist eine deutliche Bestätigung dessen, daß eine Verschiebung der beiden kolloidalen Systeme Boden und Pflanze zu Gunsten der Pflanze ein im Sinne Mitscherlichs größeres Nährstoffkapitel „b" zur Folge hat.

Wir wollen nun den Fall betrachten, bei dem keine Änderung des Systems Pflanze, sondern eine Änderung des Systems Boden vorgenommen wird.

Versuche hierüber sind in der Literatur mannigfach vorhanden. Es seien nur die Untersuchungen Neubauers (8), Kroßs und Mitscherlichs (9) (10) genannt, die eine Beziehung zwischen den kolloidalen Systemen klar erkennen lassen. Folgender Versuch von Kroß zeigt besonders deutlich, daß mit der Steigerung

der Bodenmenge die Aufnahme an P_2O_5 und K_2O zwar zunimmt, aber nicht in linearer Form — wie Neubauer und auch Mitscherlich voraussetzen — sondern in immer schwächer werdendem Maße.

Übersicht 4

Phosphorsäure- und Kaliaufnahme bei gestaffelten Bodenmengen.

Bodenmenge g	Aufnahme mg K_2O	Aufnahme mg P_2O_5	je 100 g Boden mg K_2O	je 100 g Boden mg P_2O_5
Boden Markee				
11,1	2,6	1,6	23,4	14,4
33,3	6,7	3,4	20,1	10,2
100,0	19,3	6,6	19,3	6,6
300,0	54,0	13,4	18,0	4,5
Boden Ebereschenhof				
11,1	15,4	— 0,4	138,5	—
33,3	55,1	0,2	165,5	0,60
100,0	116,0	0,7	116,0	0,70
300,0	131,0	1,1	43,6	0,37

Der Ebereschenhofer Boden fällt deswegen etwas aus dem Rahmen, weil er vor der Untersuchung eine starke Kalidüngung erhalten hatte. Er enthält also viel leicht lösliches Kali, während das Bodenkali stark zurücktritt.

Wäre der Nährstofflieferant nämlich eine reine Lösung, so müßte die Nährstoffaufnahme eine lineare sein. Auch auf adsorptionsschwachen Böden und solchen mit viel freien Nährstoffen werden diese in ziemlich linearer Form zur angewandten Bodenmenge abgegeben. Der Boden von Ebereschenhof ist hierfür in seinen ersten beiden Phasen ein Beispiel. Aber bei fast allen anderen Böden (z. B. der Boden von Markee), bei denen die Nährstoffkonzentration der Bodenlösung eine nur sehr geringe ist, trifft dieser Fall nicht zu. Sie geben zwar größere Nährstoffmengen bei steigenden Bodenmengen her, aber nicht proportional der angewandten Bodenmenge, sondern in einer sich steigernden, nicht linearen, einem Endwert zuführenden Form.

Unterzieht man die Ergebnisse der angeführten Untersuchungen einer näheren Betrachtung, so findet man auch hier, daß die Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen, mathematisch betrachtet, in der hyperbolischen Funktion nach Vageler (11) zum Ausdruck kommt. Besonders Scheffer (12) weist im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen an gestaffelten Bodenmengen darauf hin, daß die Aufnahme der Bodennährstoffe durch die Pflanze im Sinne von Vagelers Funktion erfolgt. Denn da nach

Vageler in erster Linie der Sorptionskomplex als Nährstoffliefernant in Frage kommt, können aus diesem nur so viele Nährstoffe in Freiheit gesetzt werden, wie die von dem Wurzelsystem in Berührung mit den Bodenteilchen ausgeschiedenen H-Ionenmengen Kationen verdrängen können. Ob das verdrängende Agens hierbei das H oder irgendein anderes Ion ist, — Ca Ionen spielen zweifellos bei der K-Aufnahme eine große Rolle — ist aber für den Vorgang als solchen nicht von Bedeutung.

Jedenfalls handelt es sich hierbei um Ionen, deren Menge von der Pflanze selbst bestimmt wird. Man wird daher der Ansicht Vagelers (13) zustimmen, daß die Nährstoffaufnahme ihrem Wesen nach eine Kationenverdrängung ist und damit den Umtauschgesetzen unterliegt.

Die durch x Milliäquivalente H in Freiheit gesetzte Kationenmenge y ist allgemein:

$$y = \frac{x \cdot S}{x + q_h \cdot S}$$

Ist auch bei den Keimpflanzenversuchen die aktivierte H-Ionenmenge nicht bekannt, so wird man keinen allzu großen Fehler begehen, wenn man voraussetzt, daß 100 g Körner stets eine bestimmte H-Ionenmenge produzieren, die dann auf die verschiedenen Bodenmengen einwirkt.

Das Lösungsmittel bleibt also konstant. Lediglich die Bodenmenge wird variiert, was bedeutet, daß auf die Einheit Boden bezogen verschiedene H-Ionenmengen zur Wirkung gelangen.

Rechnen wir zwei Beispiele aus der Literatur durch:

Übersicht 5

Gestaffelte Bodenmengen nach Neubauer (14).

Bodenmenge g	gefunden		berechnet nach Vageler	
	mg P_2O_5	mg K_2O	mg P_2O_5	mg K_2O
50	4,0	16,9	4,0	16,9
100	7,0	29,1	7,0	34,8
200	11,1	50,8	11,1	50,8

Übersicht 6

Gestaffelte Bodenmengen nach Kroß (15).

Bodenmenge g	gefunden		berechnet nach Vageler	
	mg P_2O_5	mg K_2O	mg P_2O_5	mg K_2O
11,1	1,6	2,6	1,6	2,6
33,3	3,4	6,7	4,1	7,6
100,0	6,6	19,3	8,6	21,3
300,0	13,4	54,0	13,4	54,0

Die Werte wurden errechnet unter Zugrundelegung von A = Höchstwert und y = dem durch die Bodenmenge x erzielten Ertrag nach der in der Bezeichnung geänderten Formel:

$$y = \frac{x \cdot A}{x + q \cdot A}$$

Der Sorptionsmodul q ist dabei die einzige Unbekannte, und eine für jeden Boden zu berechnende Konstante.

Man ersieht aus den obigen Beispielen, daß die errechneten Werte bei nur sehr geringen Abweichungen mit den tatsächlich gefundenen Werten gut übereinstimmen. Zwar handelt es sich hierbei nur um Werte von Keimpflanzenversuchen, aber wir werden gleich sehen, daß dasselbe auch für reife Pflanzen zutrifft.

Schon aus Reitmairs (16) Versuchen geht hervor, daß in Gefäßen mit gestaffelten Bodenmengen, die zur Erreichung ihres Volumens jedesmal mit einer entsprechenden Menge Sand ergänzt wurden, dieselbe Erscheinung auftritt, daß nämlich die Pflanzen aus steigenden Bodenmengen zwar steigende Nährstoffmengen entnehmen, diese Zunahmen aber bei jeder Steigerung immer geringer werden, um schließlich ebenfalls einem Endwert zuzustreben.

Reitmair ließ in jedem Gefäß die gleiche Anzahl Pflanzen wachsen und bestimmte dann den Nährstoffentzug in mg je Gefäß:

Übersicht 7

Nährstoffentzug.

Boden : Sand	gefundene Menge		errechnete Menge	
	mg P_2O_5	mg K_2O	mg P_2O_5	mg K_2O
100 : 0	350	1071	350	719
64 : 36	229	667	266	667
32 : 68	139	491	154	549
16 : 84	91	411	87	411
8 : 92	46	247	46	271
4 : 96	29	178	24	162
2 : 98	18	106	12	89
1 : 99	13	108	6	47
für P_2O_5:	A = 815,0 q = 0,164		für K_2O:	A = 840,0 q = 0,02

Diese Versuche Reitmairs zeigen ebenfalls, daß die Bodennährstoffe von der Pflanze umso stärker ausgenutzt werden, je geringer die Bodenmenge je Pflanze ist. Wenn z. B. die Pflanze aus einem Teil Boden 13 mg Phosphorsäure entzog, so entnahm sie 2 Teilen Boden nicht 26 mg, sondern nur 18 mg P_2O_5. Dasselbe zeigt sich beim Kali. Man erkennt also sofort, daß die Nährstoffausnutzung mit steigender Bodenmenge sinkt, d. h. daß die Beziehung zwischen Bodenmenge x und aufgenommener Nährstoffmenge y im Pflanzenversuch nicht durch eine lineare Beziehung, sondern durch eine zur x-Achse gekrümmte Linie dargestellt werden muß.

Auch in Reitmairs Versuchen läßt sich die Nährstoffausnutzung gut mit der hyperbolischen Funktion erklären, denn wie wir oben gesehen haben, stimmen die errechneten P_2O_5-Werte mit den gefundenen sehr schön überein. Nur beim Kali finden wir sowohl bei den Anfangs- wie auch bei den Endwerten größere Abweichungen, die noch nicht geklärt werden können.

Jedenfalls zeigen aber die angeführten Untersuchungen, daß im Verlauf der Nährstoffaufnahme keine lineare Beziehung zur angewandten Bodenmenge besteht, und daß die P_2O_5-Kurve Reitmairs recht gut durch die hyperbolische Funktion

$$y = \frac{x \cdot 815}{x + 815 \cdot 0{,}164}$$

dargestellt werden kann.

Auch die Kaliwerte können — wenn man von den Endwerten absieht — durch eine ähnliche Funktion ausgedrückt werden.

3. Der Einfluß der Boden-Sandmischung auf das Ergebnis nach Mitscherlich.

Neuerdings hat sich nun Scheffer (17) dieses Problems angenommen und hat an Hand von sehr umfangreichem Material eindeutig die nicht lineare Zunahme der pflanzenverfügbaren Nährstoffe bei einer Steigerung der Bodenmenge beweisen können.

Scheffer untersuchte 10 Böden aus der Praxis auf ihren Nährstoffgehalt nach Mitscherlich bei verschiedenen Boden-Sandmischungen und konnte dabei feststellen, daß nur zwei Böden — aber auch diese noch nicht eindeutig — ihre Nährstoffe ungefähr linear der angewandten Bodenmenge abgaben. Die übrigen acht Böden bestätigten vollauf das Vorhergesagte und zeigten, nach der hyperbolischen Funktion Vagelers berechnet, recht gute Übereinstimmung mit den gefundenen Werten.

Scheffer kommt daher auch zu der Folgerung, daß die Nährstoffbestimmung nach Mitscherlich (18) zu unrichtigen, meist zu hohen Werten führt, da Mitscherlich ja bekanntlich seine durch eine Boden-Sandmischung gefundenen Werte durch einfache

lineare Multiplikation auf das freie Feld überträgt. Scheffers (19) Untersuchungen zeigen, „daß die Beziehung zwischen Bodenmenge und Pflanzenertrag nicht durch die logarithmische Kurve Mitscherlichs, sondern besser durch eine hyperbolische Gleichung im Sinne Vagelers auszudrücken ist".

Da aus den Arbeiten Mitscherlichs (20) bekannt ist, daß zwar die Beziehung zwischen Düngernährstoff und Pflanzenertrag eine logarithmische Funktion darstellt, die Werte Reitmairs und Scheffers aber eine hyperbolische Funktion ergeben, so geht daraus schon jetzt hervor, daß die Bodennährstoffe auf den Pflanzenertrag in einer anderen Weise wirken als die Düngernährstoffe.

Ein absorptionsschwacher Sandboden, der nur, oder doch überwiegend Düngernährstoffe enthält, mag wohl einen linearen Nährstoffentzug gestatten und der logarithmischen Funktion Mitscherlichs gehorchen, aber die meisten unserer Böden, wie auch die eigenen Untersuchungen zeigen werden, gehorchen anderen Gesetzen. Für sie wird sich deswegen auch die Anwendbarkeit der Bodenuntersuchungsmethode nach Mitscherlich nicht mehr halten lassen.

Auch die Methode Wießmann (21), von der Maiwald (22) sagt, daß sie nur verständlich wird, wenn man ihr einen Mitscherlich'schen Gedankengang zu Grunde legt: „Asymptotischer Verlauf der Ertragskurve gegen eine Parallele zur Abszissenachse und asymptotische Annäherung des Ertrages an den Höchstertrag", wird somit hinfällig.

Die Bestimmung des Nährstoffvorrates der Böden nach Mitscherlich und Wießmann beruht auf der Beziehung zwischen Pflanzenertrag und Nährstoffgehalt. Mitscherlich formuliert diese Abhängigkeit in seinem bekannten Gesetz, dem „Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren" mit der Gleichung:

$$\log (A - y) = \log A - c \cdot x$$

oder entlogarithmiert:

$$y = A (1 - e^{-c \cdot x}).$$

Wießmann dagegen lehnt eine mathematische Formulierung der Beziehung zwischen Nährstoffgehalt und Ertrag ab, da die Versuche von Lemmermann (23), Gerlach (24), Rippel (25), Jessen (26) u. a. die Inkonstanz der Wirkungsfaktoren bereits ergeben hatten. Aus dieser Erkenntnis heraus bestimmt Wießmann die Höhe des Wirkungsfaktors jedesmal versuchsmäßig, um ihn erst dann seinen Berechnungen zu Grunde zu legen. Nur hier unterscheiden sich also, wie auch aus den Arbeiten von Mitscherlich (27) und Behrens (28) hervorgeht, die Verfahren Mitscherlich und Wießmann von einander.

Nach den Untersuchungen Scheffers (29) liegen die Werte nach Mitscherlich und Wießmann aber nicht gleich hoch, trotzdem von Mitscherlich gezeigt worden ist, daß bei der Berechnung des

Nährstoffvorrates die Höhe des Wirkungsfaktors „c" nicht die Bedeutung besitzt, die ihr zunächst beigemessen wurde.

Scheffer stellte fest, daß die Phosphorsäurewerte nach Mitscherlich höher als die nach Wießmann waren, daß aber die Kaliwerte gerade umgekehrt lagen. Betrachtet man die Werte beider Methoden aber nicht absolut, sondern relativ, so kann man eine ganz gute Übereinstimmung feststellen.

Man kann weiter feststellen, daß die Unterschiede, die durch die Inkonstanz des Wirkungsfaktors „c" hervorgerufen werden, bei der Berechnung des Nährstoffvorrates nicht so stark ins Gewicht fallen, wie die durch die Sandbeimischungen hervorgerufenen Fehler.

Bekanntlich bestimmen Mitscherlich und Wießmann den Nährstoffvorrat „b" nicht in Versuchen mit reinem Boden, sondern in solchen, bei denen der Boden zuvor mit Sand vermischt worden ist. Beide Forscher bestimmen also den Nährstoffvorrat „b" auf einem stark mit Sand verdünnten Boden und rechnen mit Hilfe eines dem Boden-Sandmischungsverhältnis entsprechenden Faktors auf den Gesamtboden um. Sie setzen dabei voraus, daß „b" eine streng definierbare Größe ist, deren Wirkung in allen Boden-Sandmischungen gleich ist.

Wenn z. B. die physiologisch wirksame Nährstoffmenge von 7 kg Boden = b ist, so beträgt sie nach Mitscherlich und Wießmann für 1 kg des gleichen Bodens = $\frac{b}{7}$.

Diese Annahme ist aber bisher noch nicht bestätigt worden und wird auch von Lemmermann (30) bestritten.

Die bisher hierüber gemachten Untersuchungen bestätigen mit wenigen Ausnahmen, daß es unzulässig ist, durch einfache Multiplikation der gefundenen Nährstoffmenge einer geringen Bodenmenge auf die einer höheren Bodenmenge schließen zu wollen.

Trotz des bisher vorliegenden Beweismaterials, insbesondere trotz der umfangreichen und eindeutigen Untersuchungen Scheffers, beharrt Mitscherlich weiter auf seiner Annahme der linearen Beziehung zwischen Nährstoffkapital und Bodenmenge — mit deren Bestehen nach Mitscherlichs eigenen Worten die ganze mathematische Formulierung des Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren steht oder fällt — und versucht sogar, diese durch neuere Versuche noch einmal zu bestätigen (31).

Doch werden wir am Schluß der Arbeit sehen, daß Mitscherlichs eigene Zahlen gegen ihn selbst sprechen.

Die nun folgenden eigenen Untersuchungen wurden streng nach der Vorschrift Mitscherlichs durchgeführt.

Als Düngung bekamen die Gefäße:

1 g N als Ammoniumnitrat,
1 g P_2O_5 als Dicalciumphosphat,
1,2 g K_2O als Kaliumsulfat.

Daneben wurden die üblichen Mengen Natriumchlorid, Magnesiumsulfat und Calciumcarbonat beigemengt. Destilliertes Wasser wurde bis zur Sättigung gegeben. Versuchsfrucht war Hafer. Besondere Vegetationsbeobachtungen wurden nicht gemacht.

Die Erntesubstanzen wurden in Körner und Stroh getrennt auf Trockensubstanz und Phosphorsäure und Kali untersucht. Die zur Untersuchung verwendeten Böden entstammen den Kreisen Jericho I. und II. der Provinz Sachsen und sind vollkommen verschiedenartiger Natur. Es wurde sowohl ganz leichter Sand-, wie auch schwerer Tonboden herangezogen, und der Humusgehalt war ebenfalls sehr verschieden. Am besten sind die 14 Böden durch nachfolgende Zahlenzusammenstellung charakterisiert:

Übersicht 8

Boden Nr.	Schlag Bezeichnung	Azid. KCl p. H.	Nährstoffbestimmungen				Bod. : Sand = 1 : 5	
			Dirks-Scheffer		*Kawe* (43)		*Mitscherlich*	
			Test P_2O_5	mg K_2O	Test P_2O_5	mg K_2O	dz/ha P_2O_5	dz/ha K_2O
1	Hopfwiese IV	6,81	10,5	6,41	6,6	3,42	10,6	7,2
2	Hagenstücken	6,57	5,0	3,77	3,3	2,47	8,4	11,2
3	Köpkes Plan I	6,61	9,5	3,83	6,0	2,12	15,7	9,8
4	Große Worth	7,23	6,0	2,57	6,9	1,78	22,1	9,2
5	Alter Hof	7,13	32,0	12,26	29,1	5,62	26,2	9,0
6	Garten	5,65	4,0	3,32	3,6	2,90	1,2	8,5
7	Schweinekoppel	6,33	11,0	0,84	1,5	0,75	0,6	4,3
8	Kriel	6,73	7,0	0,75	6,9	0,57	5,8	4,4
9	Bahne Ihle	6,76	3,0	0,54	2,7	0,15	4,8	5,2
10	Süßer Berg	6,59	4,0	0,72	2,4	0,13	2,6	4,4
11	Mühlwerder	6,89	10,0	3,00	8,7	1,22	10,9	7,6
12	Desholt	4,99	20,0	4,12	14,7	1,98	16,4	7,8
13	Gersteberge	4,29	19,0	6,12	12,2	4,67	31,4	6,8
14	Weiwiese	4,71	2,0	0,77	1,2	0,75	3,1	5,8

Man ersieht, daß ganz verschieden nährstoffhaltige Böden zur Untersuchung herangezogen wurden. Nicht nur extrem saure, arme und reiche Böden zeigt die Zusammenstellung, sondern auch ganz verschiedene Reaktionsbereiche sind vorhanden. Auch in der Textur sind die Böden außerordentlich verschieden, wie aus der nun folgenden Übersicht hervorgeht:

Übersicht 9

Schlämmanalysen nach Vageler-Alten.

Boden Nr.	Bezeichnung Schlag	Ton %	Silt + Ton %	Silt %	Feinsand %	Grobsand %
1	Hopfwiese IV	6,8	36,8	30,0	42,6	20,6
2	Hagenstücken	22,0	46,4	24,4	34,0	19,6
3	Köpkes Plan I	8,8	56,0	47,2	22,1	21,9
4	Große Worth	10,8	78,8	68,0	8,5	12,7
5	Alter Hof	6,8	24,0	17,2	29,0	47,0
6	Garten	18,4	26,4	8,0	38,9	34,7
7	Schweinekoppel	28,8	43,2	14,4	38,9	17,9
8	Kriel	22,4	39,2	16,8	39,4	21,4
9	Bahne Ihle	39,5	54,4	14,8	28,9	16,7
10	Süßer Berg	26,0	40,8	14,8	40,5	18,7
11	Mühlwerder	11,2	22,8	11,6	38,5	38,7
12	Desholt	11,6	19,2	7,6	49,0	31,8
13	Gersteberge	8,4	14,8	6,4	33,7	51,5
14	Weiwiese	29,6	56,4	26,8	38,3	5,3

Die Zusammenstellung zeigt Böden mit den verschiedensten Ton-Sandverhältnissen. Denn es wurden mit Absicht die unterschiedlichsten Bodentypen herangezogen, um nicht nur einseitig in einer Richtung liegendes Material verarbeiten zu müssen.

In den nun folgenden Übersichten ist der jeweilige Nährstoffgehalt in dz/ha, bei den verschiedenen Boden-Sand-Verhältnissen, nach Mitscherlichs Ertragstafeln errechnet. Aus einer Spalte ist der für die Umrechnung auf die gleiche Menge Boden nach Mitscherlich erforderliche Faktor ersichtlich, die daneben liegende Spalte gibt jedoch den wirklich gefundenen Faktor an. Aus Übersicht 10 sind die Phosphorsäurewerte und aus der Übersicht 11 die Kaliwerte für die 14 verschiedenen Böden zu ersehen:

Zunächst sei zu den angeführten Zahlen festgestellt, daß fast alle Böden mit Ausnahme von 6 „Garten" für Phosphorsäure und 7 „Schweinekoppel" für P_2O_5 und K_2O, sowie für 8 „Kriel" für K_2O und 9 „Bahne Ihle" ebenfalls nur für K_2O, die höchsten „b"-Mengen, bezogen auf die gleiche Menge Boden, bei den weitesten Boden-Sand-Verhältnissen lieferten. Fast immer erbrachte der Wert des Verhältnisses 1 : 0 oder 1 : 1 die niedrigsten Werte, während das Boden-Sand-Verhältnis 1 : 20 fast ausnahmslos den höchsten „b"-Wert ergab. Die vorliegenden Untersuchungen können somit nicht die Vermutung Scheffers (32) bestätigen, daß die höchsten „b"-Werte bei Verdünnungsgraden von 1 : 5 bis 1 : 10 gefunden würden, um dann mit weiterer Verdünnung wieder abzusinken.

Übersicht 10

Untersuchungen auf P_2O_5 nach Mitscherlich.

Boden Nr. Schlag	Verhältnis Boden : Sand	NPK g	NK g	% A	P_2O_5 dz/Gefäß ohne Abzug des bl. Wertes	P_2O_5 dz/Gefäß nach Abzug des bl. Wertes	P_2O_5 dz/ha	Faktor nach Mitscherlich	Faktor gefunden
1 Hopfwiese IV	1 : 20	86,0 ± 1,32	36,8 ± 1,35	42,9	0,41	0,33	13,8	42	10,4
	1 : 15	83,4 ± 2,68	41,2 ± 1,34	49,4	0,49	0,41	13,1	32	8,6
	1 : 10	86,7 ± 0 91	52,9 ± 3,60	61,0	0,68	0,61	13,4	22	5,4
	1 : 5	95.1 ± 1,12	69,4 ± 2,16	72,9	0,95	0,88	10,6	12	3,9
	1 : 2,5	96,0 ± 1,49	84,0 ± 1,57	87,6	1,51	1,45	10,2	7	2,4
	1 : 1	96,6 ± 1,34	91,6 ± 0,83	95,0	2,17	2,13	8,5	4	1,6
	1 : 0	99,1 ± 0,91	89,8 ± 2,23	90,6	1,72	1,72	3,4	2	2,0
2 Hagenstücken	1 : 20	83,3 ± 1,70	31,8 ± 0,51	38,2	0,35	0,27	11,4	42	19,0
	1 : 15	82,3 ± 1,81	37,8 ± 3,63	45,9	0,44	0,36	11,5	32	14,2
	1 : 10	87,2 ± 1,85	47,3 ± 1,52	54,2	0,56	0,49	10,8	22	10,5
	1 : 5	92,6 ± 2,03	60,6 ± 0,70	65,5	0,77	0,70	8,4	12	7,3
	1 : 2,5	100,3 ± 1,44	73,7 ± 2,22	73,3	0,96	0,90	6,3	7	5,7
	1 : 1	98,2 ± 0,74	82,4 ± 1,44	84,0	1,32	1,28	5,1	4	4,0
3 Köpkes Plan I	1 : 20	74,2 ± 1,60	34,2 ± 1,74	46,0	0,45	0,37	15,5	42	17,4
	1 : 15	84,7 ± 2,41	45,1 ± 1,41	53,3	0,56	0,48	15,4	32	13,4
	1 : 10	91,6 ± 1,25	57,1 ± 1,83	62,3	0,71	0,64	14,1	22	10,0
	1 : 5	88,9 ± 2,21	75,5 ± 4,31	85,0	1,38	1,31	15,7	12	4,9
	1 : 2,5	94,6 ± 1,56	86,1 ± 1,73	91,1	1,76	1,69	11,8	7	3,8
	1 : 1	93,9 ± 1,04	86,7 ± 0,72	92,2	1,85	1,79	7,2	4	3,6
	1 : 0	90,5 ± 1,19	89,8 ± 2,95	99,0	3,25	3,21	6,4	2	2,0
4 Große Worth	1 : 20	93,2 ± 1,01	45,9 ± 1,65	49,3	0,49	0,41	17,2	42	24,5
	1 : 15	88,7 ± 0,83	47,1 ± 1,87	53,1	0,55	0,47	15,0	32	21,4
	1 : 10	91,2 ± 1,82	61,0 ± 1,66	68,8	0,84	0,77	16,9	22	13,0
	1 : 5	95,8 ± 0,86	89,0 ± 1,77	93,0	1,92	1,85	22,1	12	5,4
	1 : 2,5	101,5 ± 0,97	96,9 ± 1,61	95,4	2,23	2,17	15,2	7	4,6
	1 : 1	104,5 ± 1,04	101,4 ± 2,58	97,0	2,55	2,51	10,0	4	4,0
5 Alter Hof	1 : 20	81,5 ± 1,90	76,5 ± 1,04	94,0	2,04	1,96	82,2	42	13,4
	1 : 15	82,1 ± 0,99	77,8 ± 1,07	94,5	2,11	2,03	65,1	32	12,9
	1 : 10	78.6 ± 2,05	74,4 ± 2,60	95,0	2,17	2,10	46.1	22	12,5
	1 : 5	90,7 ± 0,77	86,4 ± 1,85	95,5	2,25	2,18	26,2	12	12,0
	1 : 2,5	90,2 ± 1,42	93,3 ± 1,13	103,9	> 5,60	> 5,60	> 5,60	7	—
	1 : 1	97,1 ± 0,90	96,7 ± 1,44	99,5	3,88	3,84	15,4	4	-
6 Garten	1 : 20	78,1 ± 2,69	8,6 ± 0,32	11,0	0,08	0,002	0,084	42	680,0
	1 : 10	81,1 ± 0,78	13,0 ± 0,56	16,0	0,13	0,06	1,32	22	22,7
	1 : 5	91,7 ± 1,82	19,0 ± 1,54	20,8	0,17	0,10	1,20	12	13,6
	1 : 1	96,0 ± 1,62	39,1 ± 1,43	40,8	0,38	0,34	1,36	4	4,0
7 Schweinekoppel	1 : 10	88,0 ± 3,33	10,4 ± 0,52	11,8	0,09	0,02	0,44	22	48,0
	1 : 5	86,7 ± 2,64	13,6 ± 0,99	15,7	0,12	0,05	0,60	12	19,2
	1 : 1	87,9 ± 1,61	28,1 ± 0,98	32,0	0,28	0,24	0,96	4	4,0
8 a Kriel	1 : 20	102,7 ± 0,50	31,5 ± 0,40	30,7	0,26	0,18	7,56	42	30,4
	1 : 15	89,0 ± 0,80	29,2 ± 0,55	32,8	0,29	0,21	6,7	32	20,1
	1 : 10	76,3 ± 2,33	34,8 ± 1,51	45,6	0,44	0,37	8,1	22	14,8
	1 : 5	87,4 ± 1,16	46,5 ± 0,68	53,1	0,55	0,48	5,8	12	11,4
	1 : 2,5	69,6 ± 1,36	56,9 ± 1,77	81,9	1,24	1,18	8,3	7	4,7
	1 : 1	81,3 ± 2,75	69,8 ± 1,20	85,7	1,41	1,37	5,5	4	4,0

Boden Nr. Schlag	Verhältnis Boden : Sand	NPK g	NK g	% A	P_2O_5 dz/Gefäß ohne	P_2O_5 dz/Gefäß nach Abzug des bl. Wertes	P_2O_5 dz/ha	Faktor nach Mitscherlich	Faktor gefunden
8 b Kriel	1 : 20	91,9 ± 2,26	28,8 ± 1,44	31,5	0,27	0,19	8,0	42	29,0
	1 : 15	87,6 ± 1,24	33,9 ± 1,08	38,8	0,36	0,28	9,0	32	19,7
	1 : 10	80,3 ± 2,70	35,6 ± 1,36	44,3	0,42	0,35	7,6	22	15,8
	1 : 5	66,3 ± 1,82	46,5 ± 1,28	70,0	0,87	0,80	9,6	12	6,9
	1 : 2,5	68,5 ± 2,25	47,4 ± 1,16	69,3	0,85	0,79	5,5	7	7,0
9 a Bahne Ihle	1 : 20	84,2 ± 2,30	20,6 ± 2,14	24 5	0,20	0,12	5,0	42	32,0
	1 : 15	78,8 ± 1,03	20,4 ± 2,04	26,0	0,22	1,14	4,5	32	27,4
	1 : 10	84,4 ± 1,45	24,8 ± 1,06	29,4	0,25	0,18	4,0	22	21,3
	1 : 5	84,7 ± 1,54	40,5 ± 1,55	47,9	0,47	0,40	4,8	12	9,6
	1 : 1	92,5 ± 1 64	69,4 ± 1,66	75,0	1,00	0,96	3,8	4	4,0
9 b Bahne Ihle	1 : 20	79,7 ± 1,82	19,3 ± 2,30	24,3	0,20	0,12	5,0	42	24,4
	1 : 15	75,7 ± 2,10	16,8 ± 0,74	22,2	0,18	0,10	3,2	32	29,2
	1 : 10	79,6 ± 2,48	28,2 ± 1,60	35,5	0,32	0,25	5,5	22	11,7
	1 : 5	76,2 ± 2,02	36,2 ± 0,84	47,5	0,46	0,39	4,7	12	7,5
	1 : 1	77,5 ± 3,03	50,9 ± 1,85	65,8	0,77	0,73	2,9	4	4,0
10 Süßer Berg	1 : 20	77,4 ± 1,80	15,1 ± 1,03	19,5	0,16	0,08	3,36	42	34,0
	1 : 15	83,6 ± 3,22	18,7 ± 1,52	22,4	0,18	0,10	3,20	32	27,2
	1 : 10	76,1 ± 1,77	19,3 ± 0,51	25,3	0,21	0,14	3,10	22	19,4
	1 : 5	79,4 ± 1,38	26,2 ± 0,94	33,0	0,29	0,22	2,60	12	12,4
	1 : 1	81,0 ± 0,86	50,8 ± 0,93	62,8	0,72	0,68	2,72	4	4,0
11 Mühlwerder	1 : 20	80,7 ± 3,17	31,2 ± 1,91	38,8	0,36	0,28	11,8	42	18,4
	1 : 15	81,3 ± 3,53	32,7 ± 1,02	40,2	0,37	0,29	9,3	32	17,7
	1 : 10	73,7 ± 1,62	43,9 ± 1,55	59,6	0,66	0,59	13,0	22	8,7
	1 : 5	78,5 ± 2,49	58,2 ± 1,90	74,1	0,98	0,91	10,9	12	5,6
	1 : 2,5	82,8 ± 1,93	76,8 ± 1,70	92,5	1,87	1,81	12,7	7	2,8
	1 : 1	92,6 ± 2,38	82,7 ± 1,33	89,3	1,62	1,58	6,3	4	3,3
	1 : 0	100,5 ± 0,82	97,9 ± 2,57	97,1	2,57	2,57	5,1	2	2,0
12 Desholt	1 : 20	76,3 ± 2,42	35,8 ± 2,45	47,0	0,46	0,38	16,0	42	21,8
	1 : 15	68,1 ± 2,83	36,5 ± 3,55	53,7	0,56	0,48	15,4	32	17,2
	1 : 10	74,0 ± 3,83	56,1 ± 2,67	75,8	1,03	0,96	21,1	22	8,6
	1 : 5	79,1 ± 1,83	68,5 ± 1,84	86,3	1,44	1,37	16,4	12	6,0
	1 : 2,5	89,3 ± 0,41	80,2 ± 2,32	90.0	1,67	1,61	11,3	7	5,1
	1 : 1	95,9 ± 1,47	90,2 ± 0,95	94,5	2,11	2,07	8,3	4	4,0
13 Gerstebergе	1 : 20	74,7 ± 3,08	62,7 ± 1,64	84,0	1,33	1,25	52,5	42	8,6
	1 : 15	77,6 ± 2.75	65,1 ± 2,54	84,0	1,33	1,25	40,0	32	8,6
	1 : 10	80,6 ± 2,20	71,3 ± 2,43	88,9	1,60	1,53	33,6	22	7,0
	1 : 5	82,5 ± 2,21	80,1 ± 1,16	97,5	2,69	2,62	31,4	12	4,1
	1 : 2,5	84,2 ± 1,15	78,1 ± 3,60	92,8	1,90	1,84	12,9	7	5,8
	1 : 1	84,0 ± 1,27	82,0 ± 1,47	97,6	2,72	2,68	10,7	4	4,0
14 Weiwiese	1 : 20	71,3 ± 1,12	15,0 ± 0,91	21,0	0,17	0,09	3,8	42	29,8
	1 : 15	77,7 ± 0,71	17,3 ± 1,15	22,3	0,18	0,10	3,2	32	26,8
	1 : 10	71,8 ± 2,70	19,0 ± 0,68	26,5	0,22	0,15	3,3	22	17,9
	1 : 5	71,0 ± 0,95	25,7 ± 0,79	36,2	0,33	0,26	3,1	12	10,3
	1 : 2,5	75,9 ± 2,39	41,6 ± 1,29	55,0	0,58	0,52	3,6	7	5,2
	1 : 1	86,6 ± 1,92	53,6 ± 1,01	62,0	0,70	0,66	2,6	4	4,1
	1 : 0	93,1 ± 1,67	78,6 ± 1,47	84,2	1,34	1,34	2,7	2	2,0

Übersicht 11

Untersuchungen auf K_2O nach Mitscherlich.

Boden Nr. Schlag	Verhältnis Boden : Sand	NPK g	NP g	% A	K_2O dz/Gefäß ohne Abzug des bl. Wertes	K_2O dz/Gefäß nach Abzug des bl. Wertes	K_2O dz/ha ha	Faktor nach Mitscherlich	Faktor gefunden
1	1 : 20	86,0 ± 1,32	38,6 ± 0,56	45,0	0,28	0,24	10,1	42	11,2
Hopfwiese IV	1 : 15	83,4 ± 2,68	43,4 ± 1,20	52,0	0,34	0,30	9,6	32	9,0
	1 : 10	86,7 ± 0,91	51,6 ± 1,63	59,5	0,43	0,40	8,8	22	6,7
	1 : 5	95,1 ± 1,12	69,8 ± 2,20	73,2	0,63	0,60	7,2	12	4,5
	1 : 2,5	96,0 ± 1,49	85,6 ± 2,98	89,1	1,04	1,01	7,1	7	2,7
	1 : 1	96,6 ± 1,34	93,4 ± 3,05	97,9	1,80	1,78	7,1	4	1,5
	1 : 0	99,1 ± 0,91	93,6 ± 2,30	94,3	1,34	1,34	2,7	2	2,0
2	1 : 20	83,3 ± 1,70	42,2 ± 1,03	50,6	0,33	0,29	12,2	42	17,0
Hagenstücken	1 : 15	82,3 ± 1,81	48,2 ± 0,79	58,5	0,41	0,33	10,6	32	15,9
	1 : 10	87,2 ± 1,85	59,8 ± 1,25	68,5	0,55	0,52	11,4	22	9,5
	1 : 5	92,6 ± 2,03	80,8 ± 1,71	87,2	0,96	0,93	11,2	12	5,3
	1 : 2,5	100,3 ± 1,44	86,7 ± 1,05	86,2	0,93	0,90	6,3	7	5,5
	1 : 1	98,2 ± 0,74	91,3 ± 1,87	93,1	1,25	1,23	4,9	4	4,0
3	1 : 20	74,2 ± 1,60	41,1 ± 3,35	55,4	0,38	0,34	14,3	42	17,1
Köpkes Plan I	1 : 15	84,7 ± 2,41	57,3 ± 2,23	67,9	0,54	0,50	16,0	32	11,6
	1 : 10	91,6 ± 1,25	62,0 ± 1,61	67,9	0,54	0,51	11,2	22	11,4
	1 : 5	88,9 ± 2,21	74,9 ± 1,54	84,1	0,85	0,82	9,8	12	7,1
	1 : 2,5	94,6 ± 1,56	87,6 ± 1,09	92,6	1,23	1,20	8,4	7	4,8
	1 : 1	93,9 ± 1,04	89,7 ± 1,84	95,7	1,47	1,45	5,8	4	4,0
	1 : 0	90,5 ± 1,19	94,0 ± 3,30	104,0	> 3,60	> 3,60	> 3,6	2	—
4	1 : 20	93,2 ± 1,01	52,2 ± 1,05	56,0	0,38	0,34	14,3	42	13,7
Große Worth	1 : 15	88,7 ± 0,83	54,6 ± 1,78	61,7	0,45	0,41	13,1	32	11,3
	1 : 10	91,2 ± 1,82	64,8 ± 1,91	71,0	0,60	0,57	12,8	22	8,2
	1 : 5	95,8 ± 0,86	79,7 ± 1,17	89,0	0,80	0,77	9,2	12	6 5
	1 : 2,5	101,5 ± 0,97	95,1 ± 1,73	93,8	1,30	1,27	8,9	7	3,7
	1 : 1	104,5 ± 1,04	96,0 ± 2,51	92,0	1,18	1,16	4,6	4	4,0
5	1 : 20	81,5 ± 1,90	59,8 ± 3,65	73.1	0,63	0,59	24,8	42	12,6
Alter Hof	1 : 15	82,1 ± 0,99	52,2 ± 1,88	63,8	0,48	0,44	14,1	32	16,9
	1 : 10	78,6 ± 2,05	57,4 ± 0,56	73,1	0,63	0,60	13,2	22	12,4
	1 : 5	90,7 ± 0,77	74,4 ± 1,21	82,0	0,78	0,75	9,0	12	9,9
	1 : 2,5	90,2 ± 1.42	86,8 ± 1,16	96,0	1,50	1,47	10,3	7	5,1
	1 : 1	97,1 ± 0,90	95,6 ± 1,42	98,2	1,88	1,86	7,4	4	4,0
6	1 . 20	78,1 ± 2,69	40,6 ± 2,35	52,0	0,34	0,30	12,6	42	20,5
Garten	1 : 10	81,1 ± 0,78	53,3 ± 1,75	65,8	0,50	0,47	10,3	22	13,1
	1 : 5	91,7 ± 1,82	73,1 ± 1,91	80,0	0.74	0,71	8,5	12	8,7
	1 : 1	96,0 ± 1,62	92,6 ± 0,67	96,4	1,56	1,54	6,2	4	4,0
7	1 : 10	88,0 ± 3,33	31,8 ± 2,29	36,2	0,21	0,18	3,96	22	21,8
Schweinekoppel	1 : 5	86,7 ± 2,64	49,0 ± 1,57	56,7	0,39	0,36	4,32	12	10.9
	1 : 1	87,9 ± 1,61	77,3 ± 0,38	88,0	1,00	0,98	3,92	4	4,0
8 a	1 : 20	102,7 ± 0,50	22,6 ± 0,60	21,5	0,11	0,07	2,9	42	85,0
Kriel	1 : 15	89,0 ± 0,80	31,6 ± 2,01	35,5	0,21	0,17	5,4	32	35,1
	1 : 10	76,3 ± 2,33	33,7 ± 0,98	44,2	0,27	0,24	5,3	22	24,9
	1 : 5	87,4 ± 1,16	50,1 ± 1,84	57,4	0,40	0,37	4,4	12	16,1
	1 : 2,5	69,6 ± 1,36	50,5 ± 1,37	72,8	0,62	0,59	4,1	7	10,0
	1 : 1	81,3 ± 2,75	78,3 ± 1,68	96,1	1,51	1,49	6,0	4	4,0

Boden Nr. Schlag	Verhältnis Boden : Sand	N P K g	N P g	% A	K_2O dz/Gefäß ohne Abzug des bl. Wertes	K_2O dz/Gefäß nach Abzug des bl. Wertes	K_2O dz/ha	Faktor nach Mitscherlich	Faktor gefunden
8 b Kriel	1 : 20	89,7 ± 0,79	22,5 ± 0,94	25,1	0,14	0,10	4,2	42	51,1
	1 : 15	83,6 ± 0,49	26,9 ± 1,24	32,3	0,18	0,14	4,5	32	36,4
	1 : 10	80,0 ± 1,43	32,3 ± 1,88	40,4	0,24	0,21	4,6	22	24,4
	1 : 5	68,9 ± 2,27	39,0 ± 1,16	56,9	0,39	0,36	4,3	12	14,2
	1 : 2,5	64,4 ± 0,76	50,0 ± 1,60	77,6	0,70	0,67	4,7	7	7,7
	1 : 1	71,9 ± 3,80	67,2 ± 3,20	93,8	1,30	1,28	5,1	4	4,0
9 a Bahne Ihle	1 : 20	84,2 ± 2,30	23,6 ± 1,40	28,0	0,15	0,11	4,6	42	53,9
	1 : 15	78,8 ± 1,03	28,9 ± 0,94	36,7	0,21	0,17	5,4	32	34,8
	1 : 10	84,4 ± 1,45	40,6 ± 2,10	48,2	0,31	0,28	6,2	22	21,1
	1 : 5	84,7 ± 1,54	52,8 ± 1,13	62,2	0,46	0,43	5,2	12	13,8
	1 : 1	92,5 ± 1,64	88,9 ± 2,64	96,0	1,50	1,48	5,9	4	4,0
9 b Bahne Ihle	1 : 20	71,1 ± 2,16	21,1 ± 1,86	29,7	0,16	0,12	5,0	42	42,0
	1 : 15	76,5 ± 1,80	23,0 ± 1,61	30,1	0,17	0,13	4,2	32	38,7
	1 : 10	70,7 ± 2,45	35,6 ± 1,56	50,5	0,33	0,30	6,6	22	16,8
	1 : 5	80,0 ± 3,80	44,9 ± 2,05	56,0	0,38	0,35	4,2	12	14,4
	1 : 1	83,1 ± 2,13	77,9 ± 1,17	93,5	1,28	1,26	5,0	4	4,0
10 Süßer Berg	1 : 20	77,4 ± 1,80	25,6 ± 2,45	33,1	0,19	0,15	6,30	42	25,1
	1 : 15	83,6 ± 3,22	27,7 ± 1,68	33,2	0,19	0,15	4,80	31	25,1
	1 : 10	76,1 ± 1,77	36,1 ± 1,84	47,4	0,29	0,26	5,70	22	14,5
	1 : 5	79,4 ± 1,38	45,6 ± 1,90	57,4	0,40	0,37	4,40	12	10,2
	1 : 2,5	82,9 ± 1,92	56,3 ± 1,92	68,1	0,54	0,51	3,57	7	7,4
	1 : 1	81,0 ± 0,86	70,7 ± 0,67	87,2	0,96	0,94	3,76	4	4,0
11 Mühlwerder	1 : 20	80,7 ± 3,17	32,6 ± 1,16	39,3	0,23	0,19	8,0	42	22,1
	1 : 15	81,3 ± 3,53	38,5 ± 1,69	47,3	0,30	0,26	8,3	32	16,2
	1 : 10	73,7 ± 1,62	46,4 ± 1,12	63,0	0,46	0,43	9,5	22	9,8
	1 : 5	78,5 ± 2,49	59,1 ± 2,46	75,3	0,66	0,63	7,6	12	6,7
	1 : 2,5	82,8 ± 1,93	73,5 ± 2,31	89,0	1,03	1,00	7,0	7	4,2
	1 : 1	92,6 ± 2,38	83,4 ± 2,31	90,0	1,08	1,08	4,3	4	3,9
	1 : 0	100,5 ± 0,82	99,9 ± 1,94	98,9	2,10	2,10	4,2	2	2,0
12 Desholt	1 : 20	76,3 ± 2,42	41,5 ± 4,15	54,4	0,37	0,33	13,9	42	13,8
	1 : 15	68,1 ± 2,83	42,1 ± 0,97	62,0	0,45	0,41	13,1	32	11,1
	1 : 10	74,0 ± 3,83	47,8 ± 2,17	64,7	0,49	0,46	10,0	22	9,9
	1 : 5	79,1 ± 1,83	60,4 ± 1,11	76,3	0,68	0,65	7,8	12	7,0
	1 : 2,5	89,3 ± 0,41	71,2 ± 2,97	80,0	0,84	0,81	5,7	7	5,6
	1 : 1	95,9 ± 1,47	87,9 ± 1,14	91,2	1,16	1,14	4,6	4	4,0
13 Gerstenberge	1 : 20	74,7 ± 3,08	43,2 ± 3,37	57,9	0,40	0,36	15,1	42	18,2
	1 : 15	77,6 ± 2,75	37,4 ± 1,89	48,3	0,31	0,27	8,66	32	24,3
	1 : 10	80,6 ± 2,20	49,2 ± 2,15	61,0	0,44	0,41	9,0	22	16,0
	1 : 5	82,5 ± 2,21	58,7 ± 2,95	71,0	0,60	0,57	6,8	12	11,5
	1 : 2,5	84,2 ± 1,15	73,9 ± 2,50	87,6	0,98	0,96	6,7	7	6,8
	1 : 1	84,0 ± 1,27	81,6 ± 1,43	97,1	1,66	1,64	6,6	4	4,0
14 Weiwiese	1 : 20	71,3 ± 1,12	33,4 ± 2,98	46,8	0,29	0,25	10,5	42	11,2
	1 : 15	77,7 ± 0,71	34,4 ± 1,31	44,3	0,28	0,24	7,7	32	11,6
	1 : 10	71,8 ± 2,70	39,1 ± 1,04	54,8	0,37	0,34	7,5	22	8,2
	1 : 5	71,0 ± 0,95	47,0 ± 1,97	66,1	0,51	0,48	5,8	12	5,8
	1 : 2,5	75,9 ± 2,32	58,4 ± 0,65	77,0	0,69	0,66	4,6	7	4,2
	1 : 1	86,6 ± 1,92	82,3 ± 1,53	95,0	1,40	1,38	5,5	4	2,0
	1 : 0	93,1 ± 1,67	88,9 ± 1,69	95,0	1,40	1,40	2,8	2	2,0

Die Böden 8a „Kriel" und 8b „Kriel", sowie 9a und 9b „Bahne Ihle" unterscheiden sich insofern voneinander, als 8a und 9a bereits im Herbst mit N P K und N P bezw. N K angesetzt wurden, 8b und 9b zwar ebenfalls im Herbst in Gefäße getan wurden, aber einmal als N P K ohne $CaCO_3$ und als N K ohne $CaCO_3$, und einmal mit N (P) K und N (P) angesetzt wurden, wobei das (P) erst im Frühjahr zu jedem Gefäß nachträglich hinzugegeben wurde. Es ergibt sich dadurch also eine doppelte Fragestellung: Wird der Pflanzenertrag und das Nährstoffkapital „b" bei verschiedenen Boden-Sand-Verdünnungen dadurch geändert, daß die Phosphorsäure einmal bereits im Herbst, des anderen erst im Frühjahr, und dann einmal im Herbst unter Weglassen der Kalkgabe gegeben wird?

Die Antwort hierauf geben die nachfolgenden, kurz zusammengefaßten Zahlen der Übersichten 12 und 13.

Die Tabelle 12 zeigt die Änderung des Pflanzenertrages bei verschiedenen Boden-Sandmischungen durch Zugabe der Phosphorsäure einmal im Herbst und des anderen im Frühjahr, mit und ohne Kalk, für den Boden 8 „Kriel" an, während die Übersicht 13 dasselbe für den Boden 9 „Bahne Ihle" angibt. Die mittleren Fehler sind bei beiden Böden nicht angegeben, da sie bereits aus den vorhergehenden Übersichten zu ersehen sind. Die Ergebnisse zeigen, daß sowohl bei Boden 8 wie bei Boden 9 die Phosphorsäure im Herbst zu N K auf den Pflanzenertrag gegenüber der Frühjahrsgabe erheblich ertragssteigernd wirkt. Ebenso ist der Phosphorsäureentzug (Analyse) bei N P K gegenüber N K (P) im Frühjahr ein auffallend höherer, während dies bei N P gegenüber N (P) im Frühjahr nicht in Erscheinung tritt. Die Kalkgabe bewirkt zwar durchweg einen höheren Pflanzenertrag gegenüber „ohne $CaCO_3$", ergibt aber keinen höheren Nährstoffentzug an P_2O_5. Bei Boden 8 „Kriel" ist der Nährstoffentzug an Phosphorsäure bei „—$CaCO_3$" ein höherer als bei „+$CaCO_3$".

Doch nun zurück zu unseren Untersuchungen auf „b" bei den verschiedenen Boden-Sand-Verhältnissen.

Da die Böden 6—9 entgegen unseren bisherigen Befunden und entgegen dem Verhalten der übrigen untersuchten Böden entweder bei P_2O_5 oder K_2O eine ungefähr lineare, dem Mitscherlichschen Gesetz entsprechende Steigerung von „b" aufweisen, seien kurz ihre besonderen Eigenschaften betrachtet.

Während Boden 6 „Garten" ein stark saurer, selten gedüngter stark humoser Sandboden mit Phosphorsäuremangel ist, ist Boden 7 „Schweinekoppel" ein vollkommen toter, seit vielen Jahren ungedüngter und nicht in Kultur befindlicher stark kiesiger Lehmboden, der außerdem kaliarm und nach K a w e (37) sogar auch phosphorsäurearm ist. Boden 8 „Kriel" und 9 „Bahne Ihle" sind zwei in der Praxis allerdings mäßig ertragsfreudige Böden von lehmigem Sand- bis sandigem Lehmcharakter mit starkem, bei „Kriel" sogar sehr starkem Humusgehalt. Während „Kriel" be-

Übersicht 12 und 13.

Änderung des Pflanzenertrags durch Gabe der Phosphorsäure zu verschiedenen Zeiten bei Anwesenheit und Fehlen von Kalk.

Boden : Sand	$NPK + CaCO_3$ NK = Herbst P = Herbst		$NK + CaCO_3$ NK = Herbst — —		$NP + CaCO_3$ N = Herbst P = Herbst		$NPK - CaCO_3$ NK = Herbst P = Herbst		$NK - CaCO_3$ NK = Herbst — —		$N(P)K + CaCO_3$ NK = Herbst (P) = Frühjahr		$N(P) + CaCO_3$ N = Herbst (P) = Frühjahr	
	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5	Ertrag g	Entzug mg P_2O_5
Übersicht 12														
1 : 20	102,7	482	31,5	36	22,6	214	91,9	575	28,8	39	89,7	437	22,5	255
1 : 15	89,0	444	29,2	56	31,6	207	87,6	520	33,9	46	83,6	521	26,9	269
1 : 10	76,3	447	34,8	51	33,7	209	80,3	484	35,6	69	80,0	442	32,6	312
1 : 5	87,4	434	46,5	100	50,1	318	66,3	386	46,5	109	68,9	419	39,0	293
1 : 2,5	69,6	403	56,9	166	50,5	314	68,5	409	47,4	177	64,4	357	50,0	318
1 : 1	81,3	431	69,8	320	78,3	449	—	—	—	—	71,9	512	67,2	395
Übersicht 13														
1 : 20	84,2	496	20,6	42	23,6	194	79,7	489	19,3	46	71,1	412	21,1	213
1 : 15	78,8	438	20,4	51	28,9	208	75,7	429	16,8	27	76,5	387	23,0	159
1 : 10	84,4	436	24,8	55	40,6	243	79,6	441	28,2	54	70,7	393	35,6	230
1 : 5	87,7	477	40,5	134	52,8	319	76,2	493	36,2	125	80,8	—	44,9	299
1 : 1	92,5	383	69,4	239	88,9	333	77,5	455	50,9	258	83,1	386	77,9	385

reits einen deutlichen Kali-Mangel aufweist, ist „Bahne-Ihle" sowohl phosphorsäure- wie auch kalibedürftig.

Es taucht die Frage auf: warum verhalten sich diese Böden nun so? Die Frage wäre leicht zu beantworten, wenn die Böden 6—9 durchweg absorptionsschwach mit einem gleichmäßig geringen Prozentsatz an Tonteilchen wären. Das ist aber nicht der Fall, denn während Boden 7 mit 28.8% Ton als durchaus absorptionsfähig anzusehen ist, sind die Böden 6, 8 und 9 auch durchweg reich an anorganischen und organischen Sorptionsbestandteilen. Um nun zu sehen, ob die lineare oder nicht lineare Steigerung von „b" bei steigender Bodenmenge in eine Beziehung zum Gehalt des Bodens an Absorptionsbestandteilen zu bringen ist, sei nachfolgende Zahlenzusammenstellung Nr. 14 angeführt. Um weiterhin einen Vergleich über die Stärke der Steigerung von „b" zu haben, ist der „Boden : Sand = 1 : 1" Wert gleich 1 gesetzt worden, und die jeweiligen 1 : 20-Werte sind dann darauf bezogen. Angenommen, der „b"-Gehalt eines Bodens sei nach Mitscherlich bei 1 : 1 gleich 5.0 dz/ha, bei 1 : 20 aber 12.5 dz/ha, so beträgt der diesen Boden charakterisierende — empirisch gefundene — „Nährstoffaufnahme-Steigerungs-Faktor" „E" $= \frac{5}{12{,}5} = \frac{1}{2{,}5}$.

Da sich aber Phosphorsäure und Kali bei jedem Boden verschieden verhalten, ist der „Nährstoffaufnahme-Steigerungs-Faktor" für $K_2O = E_k$ und für $P_2O_5 = E_p$.

Die angeführten Zahlen lassen allerdings bisher keinerlei Rückschlüsse über Beziehungen zwischen E und der Bodentextur zu. Auch der Humusgehalt, der nur auf Grund von Schätzungen angegeben ist, zeigt keinerlei Zusammenhang zum Faktor E. Beim Boden 9b ist der Faktor $E_k = \frac{1}{1}$. E_k wird also = 1 und zeigt an, daß der Nährstoffentzug bei steigender Boden : Sand-Verdünnung ein linear ansteigender ist.

Ist E kleiner als 1, wie bei den meisten Böden, so tritt mit gleichmäßig steigender Verdünnung eine immer größer werdende Nährstoffausnutzung ein. Die Böden mit E größer als 1 verhalten sich gerade umgekehrt. Allerdings dürfte wohl der E_p-Wert für Boden 6 zu hoch liegen.

Interessant und ins Auge fallend ist, wie E für Boden 8 und 9 durch Ansatz der Gefäße im Herbst ohne $CaCO_3$-Düngung und durch Zugabe der Phosphorsäure im Frühjahr zu den bereits mit N und K im Herbst versehenen Gefäßen erheblich kleiner wird.

Von Wichtigkeit ist aber, daß E bei keinem der Böden gleich ist, und E_p und E_k für denselben Boden jedesmal verschieden sind!

Ob der Faktor E mit dem Sorptionsmodul q, den Scheffer (33) seinen Berechnungen von „b" bei verschiedenen Boden-Sandmischungen zugrunde legt, und der auch in der vorliegenden Arbeit bereits herangezogen wurde, evtl. in Beziehung steht, soll in der nachfolgenden Zahlenzusammenstellung betrachtet werden. Gleichzeitig enthält diese Übersicht auch noch den durch Analyse

Übersicht 14

Vergleich zwischen der Höhe des „Nährstoffaufnahme-Steigerungs-Faktors" E und dem Gehalt der Böden an Absorptionsbestandteilen.

Boden Nr.	Schlag	E_p	E_k	Ton %	Humusgehalt	Nährstoffg. Kawe P_2O_5 Test	Nährstoffg. Kawe K_2O mg
1	Hopfwiese IV	$\frac{1}{1,63}$	$\frac{1}{1,42}$	6,8	gering	6,6	3,42
2	Hagenstücken	$\frac{1}{2,24}$	$\frac{1}{2,50}$	22,0	mittel	3,3	2,47
3	Köpkes Plan I	$\frac{1}{2,16}$	$\frac{1}{2,47}$	8,8	gering — mittel	6,0	2,12
4	Große Worth	$\frac{1}{1,72}$	$\frac{1}{3,11}$	10,8	mittel — stark	6,9	1,78
5	Alter Hof	$\frac{1}{5,34}$	$\frac{1}{3,36}$	6,8	gering — mittel	29,1	5,62
6	Garten	$\frac{1}{0,06}$	$\frac{1}{2,03}$	18,4	stark	3,6	2,80
7	Schweinekoppel	$\frac{1}{(0,46)}$ *)	$\frac{1}{(1,01)}$ *)	28,8	äußerst—gering	1,5	0,75
8 a	Kriel	$\frac{1}{1,38}$	$\frac{1}{0,48}$	22,4	stark — sehr stark	6,9	0,57
8 b	„	$\frac{1}{(1,46)}$ **)	$\frac{1}{0,82}$				
9 a	Bahne Ihle	$\frac{1}{1,32}$	$\frac{1}{0,78}$	39,6	mittel — stark	2,7	0,15
9 b	„	$\frac{1}{1,73}$	$\frac{1}{1,00}$				
10	Süßer Berg	$\frac{1}{1,24}$	$\frac{1}{1,68}$	26,0	mittel	2,4	0,15
11	Mühlwerder	$\frac{1}{1,87}$	$\frac{1}{1,86}$	11,2	gering — mittel	8,7	1,22
12	Desholt	$\frac{1}{1,93}$	$\frac{1}{3,03}$	11,6	gering	14,7	1,98
13	Gersteberge	$\frac{1}{4,91}$	$\frac{1}{2,29}$	8,4	mittel	12,2	4,67
14	Weiwiese	$\frac{1}{1,46}$	$\frac{1}{1,91}$	29,6	mittel	1,2	0,75

*) Der Faktor $E_{(p+k)}$ bezieht sich hier nur auf die Verdünnung 1 : 1 — 1 : 10

**) Der Faktor $E_{(p)}$ bezieht sich nur auf die Verdünnung 1 : 2,5 — 1 : 20.

festgestellten Nährstoffentzug bei den verschiedenen Boden-Sandmischungen:

Übersicht 15

Beziehungen zwischen Bodenmenge und Pflanzenertrag, ausgedrückt durch die hyperbolische Funktion Vagelers und die logarithmische Mitscherlichs.

Boden Nr. u. Schlag	berechnet für:	Boden : Sand	Teile Boden	y in % A gefunden	y berechnet aus $y = \frac{A\,x}{x + q\,A}$	y berechnet aus $y = A\,(1 - e^{-c \cdot x})$	q	E	Nährstoffentzug in g: nach Abzug des blinden Wertes, je Gefäß	Nährstoffentzug in g: aus 7 kg Boden
1 Hopfwiese IV	P_2O_5	1 : 20	1,00	42,9	45,5	10,7	0,0125	1/1,63	0,051	1,07
		1 : 15	1,31	49,4	51,2	13,7			0,075	1,20
		1 : 10	1,91	61,0	60,5	19,4			0,097	1,07
		1 : 5	3,50	72,9	73,9	33,3			0,169	1,01
		1 : 2,5	6,00	87,6	83,0	49,3			0,234	0,82
		1 : 1	10,50	95,0	89,8	69,5			0,327	0,65
		1 : 0	21,00	90,6	94,5	90,6			0,370	0,37
	K_2O	1 : 20	1,00	45,0	49,0	12,8	0,0103	1/1,42	0,128	2,68
		1 : 15	1,31	52,0	56,1	16,4			0,238	3,80
		1 : 10	1,91	59,5	65,0	23,0			0,252	2,76
		1 : 5	3,50	73,2	77,2	40,0			0,374	2,24
		1 : 2,5	6,00	89,1	85,3	56,0			0,667	2,33
		1 : 1	10,50	97,9	91,0	75,8			1,044	2,09
		1 : 0	21,00	94,3	95,1	94,3			1,574	3,15
2 Hagenstücken	P_2O_5	1 : 20	1,00	38,2	35,7	16,0	0,018	1/2,24	0,081	1,70
		1 : 15	1,31	45,9	42,2	20,9			0,055	0,88
		1 : 10	1,91	54,2	51,4	—			—	—
		1 : 5	3,50	65,5	66,6	46,0			0,122	0,73
		1 : 2,5	6,00	73,3	77,0	65,0			0,165	0,58
		1 : 1	10,50	84,0	85,3	84,0			0,258	0,52
	K_2O	1 : 20	1,00	50,6	54,3	22,5	0,0084	1/2,50	0,153	3,20
		1 : 15	1,31	58,5	61,1	28,4			0,177	2,83
		1 : 10	1,91	68,5	69,5	40,0			0,219	2,40
		1 : 5	3,50	87,2	80,8	59,3			0,471	2,83
		1 : 2,5	6,00	86,2	87,8	78,8			0,780	2,62
		1 : 1	10,50	93,1	92,7	93,1			1,123	2,45
3 Köpkes Plan I	P_2O_5	1 : 20	1,00	46,0	55,0	19,8	0,0082	1/2,16	0,048	1,01
		1 : 15	1,31	53,3	61,5	25,2			0,063	1,01
		1 : 10	1,91	62,3	70,0	34,4			0,108	1,19
		1 : 5	3,50	85,0	81,0	53,9			0,162	0,97
		1 : 2,5	6,00	91,1	88,0	73,4			0,304	1,06
		1 : 1	10,50	92,2	92,8	88,8			0,315	0,63
		2 : 0	21,00	99,0	96,3	99,0			0,393	0,39
	K_2O	1 : 20	1,00	55,4	60,1	25,9	0,0066	1/2,47	0,210	4,41
		1 : 15	1,31	67,9	66,7	32,4			0,225	3,60
		1 : 10	1,91	67,9	74,2	43,6			0,281	3,10
		1 : 5	3,50	84,1	84,0	64,9			0,463	2,78
		1 : 2,5	6,00	92,6	90,1	84,0			0,796	2,78
		1 : 1	10,50	95,7	94,5	95,7			0,950	1,90
		1 : 0	21,00	104,0	97,0	99,8			1,452	1,45

Boden Nr. u. Schlag	berechnet für:	Boden : Sand	Teile Boden	y in % A gefunden	y berechnet aus $y = \frac{A\,x}{x + q\,A}$	y berechnet aus $y = A\,(1 - e^{-c \cdot x})$	q	E	Nährstoffentzug in g: nach Abzug des blinden Wertes, je Gefäß	Nährstoffentzug in g: aus 7 kg Boden
4 Große Worth	P_2O_5	1 : 20	1,00	49,3	59,1	28,2	0,0069	$\frac{1}{1,72}$	0,048	1,01
		1 : 15	1,31	53,1	65,4	35,7			0,056	0,90
		1 : 10	1,91	68,8	73,6	47,2			0,084	0,92
		1 : 5	3,50	93,0	83,8	69,1			0,198	1,19
		1 : 2,5	6,00	95,4	89,9	86,7			0,277	0,97
		1 : 1	10,50	97,0	94,0	97,0			0,372	0,74
	K_2O	1 : 20	1,00	56,0	57,5	21,7	0,0074	$\frac{1}{3,11}$	0,172	3,61
		1 : 15	1,31	61,7	64,0	27,3			0,220	3,52
		1 : 10	1,91	71,0	72,0	36,2			0,258	2,83
		1 : 5	3,50	83,1	82,7	57,3			0,508	3,04
		1 : 2,5	6,00	93,8	89,0	76,4			0,725	2,54
		1 : 1	10,50	92,0	93,3	92,0			1,327	2,65
5 Alter Hof	P_2O_5	1 : 20	1,00	94,0	91,9	40,0	0,00092	$\frac{1}{5,34}$	0,105	2,21
		1 : 15	1,31	94,5	93,7	49,0			0,125	2,00
		1 : 10	1,91	95,0	95,4	62,5			0,202	2,22
		1 : 5	3,50	95,5	97,4	83,4			—	—
		1 : 2,5	6.00	103,0	98,8	95,4			0,372	1,30
		1 : 1	10,50	99,5	99,5	99,5			0,448	0,90
	K_2O	1 : 20	1,00	73,1	67,1	31,9	0,0049	$\frac{1}{3,36}$	0,249	5,23
		1 : 15	1,31	63,8	72,9	39,6			0,155	2,47
		1 : 10	1,91	73,1	79,7	51,9			0,222	2,44
		1 : 5	3,50	82,0	86,0	73,1			0,302	1,81
		1 : 2,5	6,00	96,0	92,7	94,8			0,588	2,05
		1 : 1	10,50	98,2	95,7	98,2			—	
6 Garten	P_2O_5	1 : 20	1,00	11,0	7,9	4,9	0,117	$\frac{1}{0,06}$	0,005	0,105
		1 : 10	1,91	16,0	14,0	9,1			0,016	0,175
		1 : 5	3,50	20,8	23,1	16,2			0,032	0,192
		1 : 1	10,50	40,8	47,3	40,8			0,168	0,336
	K_2O	1 : 20	1,00	52,0	55,6	27,3	0,0080	$\frac{1}{2,03}$	0,076	1,60
		1 : 10	1,91	65,8	70,5	45,4			0,130	1,43
		1 : 5	3,50	80,0	81,3	66,9			0,225	1,35
		1 : 1	10,50	96,4	93,0	96,4			0,684	1,36
7 Schweinekoppel	P_2O_5	1 : 10	1,00	11,8	9,5	6,8	0,095	$\frac{1}{(0,46)}$	0,021	0,231
		1 : 5	1,83	15,7	16,2	12,1			0,007	0,042
		1 : 1	5,50	32,0	36,7	32,0			0,044	0,087
	K_2O	1 : 10	1,00	36,2	43,6	32,1	0,013	$\frac{1}{(1,01)}$	0,074	0,813
		1 : 5	1,83	56,7	58,5	50,8			0,111	0,666
		1 : 1	5,50	88,0	80,9	88,0			0,204	0,408

Boden Nr. u. Schlag	berechnet für:	Boden : Sand	Teile Boden	y in % A gefunden	y berechnet aus $y = \frac{A\,x}{x + q\,A}$	y berechnet aus $y = A(1 - e^{-c \cdot x})$	q	E	Nährstoffentzug in g: nach Abzug des blinden Wertes, je Gefäß	Nährstoffentzug in g: aus 7 kg Boden
8 a Kriel	P_2O_5	1 : 20	1,00	30,7	31,2	16,9	0,022	$\frac{1}{1,38}$	0,036	0,75
		1 : 15	1,31	32,8	37,3	21,6			0,056	0,89
		1 : 10	1,91	45,6	46,5	29,9			0,051	0,56
		1 : 5	3,50	53,1	61,4	47,7			0,100	0,60
		1 : 2,5	6,00	81,9	73,1	67,3			0,166	0,58
		1 : 1	10,50	85,7	82,9	85,7			0,320	0,64
	K_2O	1 : 20	1,00	21,5	25,7	26,4	0,029	$\frac{1}{0,48}$	0,055	1,15
		1 : 15	1,31	35,5	31,2	33,1			0,087	1,39
		1 : 10	1,91	44,3	39,7	44,3			0,116	1,28
		1 : 5	3,50	57,4	54,7	65,7			0,171	1,03
		1 : 2,5	6,00	72,8	67,4	84,4			0,324	1,13
		1 : 1	10,50	96,1	78,3	96,1			0,506	1,01
9 a Bahne Ihle	P_2O_5	1 : 20	1,00	24,0	22,7	12,3	0,034	$\frac{1}{1,32}$	0,042	0,88
		1 : 15	1,31	26,0	27,8	15,9			0,051	0,82
		1 : 10	1,91	29,4	36,0	22,2			0,055	0,61
		1 : 5	3,50	47,9	50,8	37,7			0,134	0,81
		1 : 1	10,50	75,0	75,6	75,0			0,239	0,48
	K_2O	1 : 20	1,00	28,0	31,3	26,2	0,022	$\frac{1}{0,78}$	0,145	3,04
		1 : 15	1,31	36,7	37,4	33,0			0,146	2,33
		1 : 10	1,91	48,2	46,5	44,1			0,115	1,27
		1 : 5	3,50	62,2	61,3	65,7			0,252	1,51
		1 : 1	10,50	96,0	82,9	96,0			0,524	1,05
10 Süßer Berg	P_2O_5	1 : 20	1,00	19,5	14,9	9,0	0,057	1 1,24	0,020	0,42
		1 : 15	1,31	22,4	18,7	11,7			0,028	0,45
		1 : 10	1,91	25,3	25,1	16,6			0,034	0,37
		1 : 5	3,50	33,0	38,0	28,2			0,075	0,38
		1 : 2,5	6,00	47,0	51,2	43,3			0,139	0,48
		1 : 1	10,50	62,8	64,9	62,8			0,259	0,52
	K_2O	1 : 20	1,00	33,1	30,3	17,7	0,023	1 1,68	0,051	1,07
		1 : 15	1,31	33,2	36,3	22,7			—	—
		1 : 10	1,91	47,4	45,3	31,3			0,126	1,39
		7 : 5	3,50	57,4	60,3	49,7			1,193	1,16
		1 : 2,5	6,00	68,1	72,2	68,5			0,307	1,07
		1 : 1	10,50	87,2	82,0	87,2			0,450	0,90
11 Mühlwerder	P_2O_5	1 : 20	1,00	38,8	45,7	15,6	0,0124	1 1,87	0,046	0,97
		1 : 15	1,31	40,2	51,4	19,9			0,061	0,97
		1 : 10	1,91	59,0	60,8	23,2			0,094	1,03
		1 : 5	3,50	74,1	74,1	44,8			0,146	0,89
		1 : 2,5	6,00	92,5	83,0	64,0			0,291	1,04
		1 : 1	10,50	89,3	89,5	83,2			0,360	0,72
		1 : 0	21,00	97,1	93,8	97,1			0,530	0,53

Boden Nr. u. Schlag	berechnet für:	Boden : Sand	Teile Boden	y in % A gefunden	y berechnet aus $y = \frac{A\,x}{x + q\,A}$	y berechnet aus $y = A(1 - e^{-c \cdot x})$	q	E	Nährstoffentzug in g: nach Abzug des blinden Wertes, je Gefäß	Nährstoffentzug in g: aus 7 kg Boden
11 Mühlwerder	K_2O	1 : 20	1,00	39,3	46,7	19,3	0,0114	$\frac{1}{1,86}$	0,170	3,57
		1 : 15	1,31	47,3	53,4	24,5			0,140	2,24
		1 : 10	1,91	63,0	62,8	33,5			0,175	1,92
		1 : 5	3,50	75,3	75,4	52,7			0,292	1,75
		1 : 2,5	6,00	89,0	84,0	71,3			0,588	2,06
		1 : 1	10,50	90,0	90,1	89,3			1,021	2,04
		1 : 0	21,00	98,9	94,9	98,9			1,284	1,28
12 Desholt	P_2O_5	1 : 20	1,00	47,0	55,9	24,1	0,0079	$\frac{1}{1,93}$	0,073	1,53
		1 : 15	1,31	53,7	62,2	—			—	—
		1 : 10	1,91	75,8	70,8	41,4			0,111	1,22
		1 : 5	3,50	86,3	81,8	62,0			0,215	1,29
		1 : 2,5	6,00	90,0	88,3	81,2			0,268	0,94
		1 : 1	10,50	94,5	93,1	94,5			0,352	0,70
	K_2O	1 : 20	1,00	54,4	55,0	10,5	0,0082	$\frac{1}{3,03}$	0,258	5,43
		1 : 15	1,31	62,0	61,2	26,2			0,198	3,17
		1 : 10	1,91	64,9	70,0	35,8			0,254	2,79
		1 : 5	3,50	76,3	81,0	55,7			0,398	2,39
		1 : 2,5	6,00	80,0	87,9	74,5			0,645	2,26
		1 : 1	10,50	91,2	92,9	91,2			1,058	2,12
13 Gerstenberge	P_2O_5	1 : 20	1,00	84,0	80,0	30,1	0,0025	$\frac{1}{4,91}$	0,095	1,99
		1 : 15	1,31	84,0	84,0	37,4			0,093	1,49
		1 : 10	1,91	88,9	88,6	49,0			0,163	1,79
		1 : 5	3,50	97,5	93,5	73,4			0,249	1,49
		1 : 2,5	6,00	92,8	96,0	88,2			0,325	1,14
		1 : 1	10,50	97,6	98,0	97,6			0,388	0,78
	K_2O	1 : 20	1,00	57,9	50,0	28,7	0,010	$\frac{1}{2,29}$	—	—
		1 : 15	1,31	48,3	56,7	36,0			0,120	1,92
		1 : 10	1,91	61,0	65,8	47,7			0,191	2,10
		1 : 5	3,50	71,0	77,9	68,6			0,345	2,07
		1 : 2,5	6,00	87,6	85,8	86,8			0,391	1,37
		1 : 1	10,50	97,1	91,5	97,1			0,814	1,62
14 Weiwiese	P_2O_5	1 : 20	1,00	21,0	16,7	8,4	0,050	$\frac{1}{1,46}$	0,014	0,29
		1 : 15	1,31	22,3	20,8	10,9			0,032	0,51
		1 : 10	1,91	26,5	27,6	15,5			0,045	0,49
		1 : 5	3,50	36,2	41,2	26,4			0,107	0,54
		1 : 2,5	6,00	55,0	54,6	50,0			0,170	0,60
		1 : 1	10,50	62,0	68,0	59,7			0,291	0,58
		1 : 0	21,00	84,2	80,9	84,2			0,396	0,40
	K_2O	1 : 20	1,00	46,8	41,7	13,4	0,014	$\frac{1}{1,91}$	0,114	2,39
		1 : 15	1,31	44,3	48,3	16,9			—	—
		1 : 10	1,91	54,8	57,9	24,0			0,161	1,77
		1 : 5	3,50	66,1	71,6	39,4			0,239	1,43
		1 : 2,5	6,00	77,0	81,0	57,6			0,360	1,26
		1 : 1	10,50	95,0	88,2	78,2			0,550	1,10
		1 : 0	21,00	95,0	94,0	95,0			0,785	0,79

Auch diese eigenen Untersuchungen zeigen, daß die Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen eher dem von Vageler aufgestellten Gesetz folgt. Dabei weisen die Faktoren q und E eine gewisse Parallelität auf.

Diese Feststellungen sind daher auch grundlegend für die Erkenntnis, daß die Berechnung des Nährstoffgehaltes nach Mitscherlich nicht möglich ist, da Mitscherlich zur Voraussetzung machen muß, daß die aufgenommene Nährstoffmenge durch die Pflanze mit zunehmender Bodenmenge in gleicher Weise steigt.

Bekanntlich nimmt nach Mitscherlich der Pflanzenertrag y mit linear steigender Düngermenge x (Nährstoffmenge) logarithmisch zu. Ist nun aber die Nährstoffmenge (x) selbst eine nicht lineare Funktion einer anderen Größe (Bodenmenge), so ist ein logarithmischer Anstieg nicht mehr zu erwarten. Eine solche Beziehung würde in einer Formel ausgedrückt lauten:

$$y = f(x) \cdot f(b).$$

Da aber eine logarithmische Gesetzmäßigkeit zwischen Ertrag und Düngernährstoff besteht, so ist

$$\log (A - y) = \log A - c \cdot f(b),$$

wobei man f (x) Düngernährstoffmenge = f (b) Bodenmenge setzen kann. Da man nun weiter annehmen kann, daß

$$y = \frac{x A}{x + q A}$$

für die Bodennährstoffe gilt, so könnte man etwa folgende Beziehung aufstellen, die eine Kombination zwischen logarithmischer und hyperbolischer Funktion darstellt:

$$\log (A - y) = \log A - c \cdot \frac{x A}{x + q A}.$$

In einer früheren Arbeit schlägt bereits Scheffer (34) vor, den Pflanzenertrag in Abhängigkeit zu setzen zu beiden Formeln

$$y = A (1 - e^{-c \cdot x}) \cdot \frac{z A}{z + q A}$$

wobei A der Höchstertrag, c der „Wirkungsfaktor" des Düngernährstoffes, x die Düngernährstoffmenge und q der „Wirkungsfaktor" des Bodennährstoffes z bedeuten. Scheffer sagt hierzu: „Ein Boden enthält Boden- und Düngernährstoffe in wechselnden Mengen. Ein Boden, der nur Bodennährstoffe enthält, wird somit der hyperbolischen Funktion gehorchen. Ein steriler Sandboden dagegen, dem Düngernährstoffe beigemischt sind, wird die logarithmische Gesetzmäßigkeit zeigen." „Enthält nun ein Boden Boden- und Düngernährstoffe, so wäre der Pflanzenertrag in Abhängigkeit von beiden Ausdrücken zu setzen." „Inwieweit"

aber „eine derartige Formel praktische Bedeutung erlangen kann, darüber können erst noch weitere Arbeiten Aufschluß geben".

Doch nun wieder zurück zur Nährstoffbestimmung nach Mitscherlich. Nach Mitscherlich ist also die wirksame Nährstoffmenge je Bodeneinheit mit zunehmender Bodenmenge stets gleich groß. Denn nur dann steht ja der Pflanzenertrag in der bekannten logarithmischen Abhängigkeit zum Nährstoffgehalt: „Mit linear ansteigender wirksamer Nährstoffmenge steigt der Pflanzenertrag logarithmisch an und nähert sich dem Endwert A".

Steigt aber, wie oben angeführt, die wirksame Nährstoffmenge nicht geradlinig, sondern hyperbolisch an, so folgt daraus, daß der Pflanzenertrag n i c h t mehr der logarithmischen Funktion Mitscherlichs gehorchen kann, sondern eine hyperbolische Funktion der wirksamen Nährstoffmenge ist und somit den Endwert erst im Unendlichen erreicht. Diese Folgerung steht zwar insofern im Widerspruch zu den angeführten Ergebnissen und allgemeinen Beobachtungen, als der Höchstertrag in den meisten Fällen bei einer endlichen Bodenmenge erreicht wird. Hier treten wahrscheinlich dann aber andere Faktoren, meist physiologischer Art auf, die das Pflanzenwachstum und die Nährstoffaufnahme auf einen Endwert begrenzen.

Somit ist also bewiesen, daß in den meisten Fällen der Boden-Sand-Versuch den Boden anders analysiert als der reine Bodenversuch. Es muß ja so sein, da der Boden ein d y n a m i s c h e s System mit hauptsächlich adsorbierten Nährstoffen, und nicht ein Haufen Gesteinstrümmer ist, dem die Nährstoffe zufällig beigemischt sind. Denn wäre es nicht so, so wäre auch die ganze kolloidchemische Auffassung des Bodens unrichtig.

Diese Überlegung führt also zwangsläufig besonders auch von dieser Seite zur Ablehnung der Methode Mitscherlichs zur Bestimmung des Nährstoffbedürfnisses der Böden.

Wie schon oben gezeigt, finden sich in der Literatur einige Untersuchungen über das Gebiet der Bodenverdünnung. Wohl hat Mitscherlich seinerzeit selbst einige derartige Versuche durchgeführt und glaubte auf Grund dieser Ergebnisse die „pflanzenphysiologische Grundlage" geschaffen zu haben, auf welcher die Arbeiten der eigentlichen chemischen Bodenanalyse einsetzen könnten. Leider geht Mitscherlich jedoch mit gewissen Voraussetzungen an die Berechnung seiner Werte heran: für ihn gilt nämlich die logarithmische Formulierung auch für die Boden-Sand-Gemische. Der exakte Beweis hierfür ist von Mitscherlich bis jetzt aber noch nicht erbracht worden. Wohl zeigt M i t s c h e r l i c h (16) an Hand einiger Versuche die Gültigkeit seiner A n n a h m e n, aber mit der von ihm gehandhabten Methode dürfte er wohl nicht der Wirklichkeit näher kommen. Denn Mitscherlich geht bei der Berechnung seines „b"-Wertes nicht von den gefundenen Versuchswerten, sondern von theoretisch berech-

neten Werten aus, die sich oft erheblich von den ersteren unterscheiden. Eine solche Annäherungskurve läßt sich aber nur aufstellen, wenn mehrere Beobachtungspunkte festliegen, wie es in besonders dazu angelegten Versuchen möglich ist. Bei der praktischen Bestimmung von „b" ist dies aber zumeist nicht möglich, da nur zwei Versuchswerte vorliegen, und zwar der Wert der Mangel- und der der Volldüngungsreihe. Aus diesen beiden gefundenen Werten, die nach der Vorschrift Mitscherlichs zur Berechnung genügen, wird „b" in üblicher Weise errechnet.

Betrachtet man nun die Versuche Mitscherlichs als praktische Versuche, d. h., zieht man zur Berechnung von „b" nur die Werte des Mangelversuches und des Volldüngungsversuches heran, so müßte man nach Mitscherlich zu den gleichen Ergebnissen kommen.

Es seien daher in den nachfolgenden Übersichten Mitscherlichs eigene Untersuchungen über das Gebiet der Bodenverdünnung wiedergegeben und „b" auch auf Grund der tatsächlich gefundenen Werte berechnet und angeführt:

Berechnung des pflanzenverfügbaren Nährstoffkapitals „b" unter Berücksichtigung des 3fachen mittleren Fehlers (± 3 m) aus bereits von Mitscherlich veröffentlichtem Zahlenmaterial.

$$\text{I} \quad x_1 \cdot c = \log \frac{A - 3m_1}{(A + 3m_1) - (y - 3m_2)}$$

$$\text{II} \quad x_2 \cdot c = \log \frac{A}{A - y}$$

$$\text{III} \quad x_3 \cdot c = \log \frac{A - 3m_1}{(A - 3m_1) - (y - 3m_2)}$$

Übersicht 16

Boden aus „Kalkstein“.

Verhältnis Boden : Sand	± m	Trockensubstanz in g		A—y	Superphosphat			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/ Gefäß	dz/ha
	$A + m_1$ $y - m_2$	84,7 +	3,7 —	81,0	0,108	—			
1 : 11	A y	80,5 ± 1,4	5,8 ± 0,7	74,7	0,180	0,015	1,14	0,235	17,92
	$A - m_1$ $y + m_2$	76,3 —	7,9 +	68,4	0,263	0,098	7,49		
	$A + m_1$ $y - m_2$	87,5 +	9,9 —	77,6	0,326	0,176	6,71		
1 : 5	A y	82,7 ± 1,6	10,5 ± 0,2	72,2	0,350	0,200	7,62	0,300	11,42
	$A - m_1$ $y + m_2$	77,9 —	11,1 +	66,8	0,416	0,266	10,15		
	$A + m_1$ $y - m_2$	87,9 +	13,5 —	74,4	0,483	0,363	6,91		
1 : 2	A y	82,5 ± 1,8	14,7 ± 0,4	67,8	0,570	0,450	8,58	0,380	7,24
	$A - m_1$ $y + m_2$	77,1 —	15,9 +	61,2	0,670	0,550	10,48		

Übersicht 17

Boden aus „Kalkstein“.

Verhältnis Boden : Sand	± m	Trockensubstanz in g		A—y	K_2O			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/Gefäß	dz/ha
1 : 11	A + m_1 y — m_2	53,9 +	17,5 —	36,4	0,057	0,006	0,46		
	A y	50,6 ± 1,1	20,8 ± 1,1	29,8	0,077	0,026	1,99	0,044	3,08
	A — m_1 y + m_2	47,3 —	24,1 +	23,2	0,103	0,052	3,97		
1 : 5	A + m_1 y — m_2	59,7 +	30,9 —	29,1	0,104	0,057	2,18		
	A y	54,3 ± 1,8	36,0 ± 1,8	18,3	0,157	0,110	4,19	0,083	3,16
	A — m_1 y + m_2	48,9 —	41,4 +	7,5	0,271	0,224	8,56		
1 : 2	A + m_1 y — m_2	61,3 +	35,0 —	26,3	0,122	0,085	1,62		
	A y	55,3 ± 2,0	41,0 ± 2,0	14,3	0,196	0,159	3,04	0,163	3,12
	A — m_1 y + m_2	49,3 —	47,0 +	2,3	0,444	0,407	7,78		

Übersicht 18

Boden aus „Quanditten“.

Verhältnis Boden :Sand	± m	Trockensubstanz in g		A—y	Superphosphat			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/ Gefäß	dz/ha
1:11	$A+m_1$ $y-m_2$	83,0 +	4,5 —	78,5	0,110	—	—		
	A y	77,6 ± 1,8	5,4 ± 0,3	72,2	0,142	—	—	—	—
	$A-m_1$ $y+m_2$	72,2 —	6,3 +	65,9	0,180	0,015	1,14		
1:5	$A+m_1$ $y-m_2$	81,8 +	4,9 —	76,9	0,150	0,000	—		
	A y	76,4 ± 1,8	5,8 ± 0,3	70,6	0,191	0,041	1,56	0,050	1,91
	$A-m_1$ $y+m_2$	71,0 —	6,7 +	64,3	0,240	0,090	3,43		
1:2	$A+m_1$ $y-m_2$	80,3 +	7,2 —	73,1	0,408	0,288	5,50		
	A y	74,9 ± 1,8	7,5 ± 0,1	67,4	0,458	0,338	6,47	0,290	5,52
	$A-m_1$ $y+m_2$	69,5 —	7,8 +	61,7	0,517	0,397	7,58		

Übersicht 19

Boden aus „Quanditten".

Verhältnis Boden :Sand	± m	Trockensubstanz in g		A — y	K_2O			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/ Gefäß	dz/ha
1:11	A + m_1 y — m_2	58,9 +	30,0 —	28,9	0,103	0,052	3,96		
	A y	56,8 ± 0,7	33,3 ± 1,1	23,5	0,128	0,077	5,88	0,089	6,79
	A — m_1 y + m_2	54,7 —	36,6 +	18,1	0,160	0,109	8,30		
1:5	A + m_1 y — m_2	57,1 +	41,6 —	15,5	0,189	0,142	5,41		
	A y	53,8 ± 1,1	44,3 ± 0,9	9,5	0,251	0,204	7,79	0,173	6,60
	A — m_1 y + m_2	50,5 —	47,0 +	3,5	0,386	0,339	12,90		
1:2	A + m_1 y — m_2	55,0 +	44,5 —	10,5	0,240	0,203	3,88		
	A y	51,1 ± 1,3	49,3 ± 1,6	1,8	0,483	0,446	8,50	0,343	6,55
	A — m_1 y + m_2	47,2 —	54,1 +	0	> 3,6	> 3,6	>68,7		

Übersicht 20

Boden aus „Klein-Gablick“.

Verhältnis Boden : Sand	± m	Trockensubstanz in g		A—y	Superphosphat			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/ Gefäß	dz/ha
1 : 5	A + m_1 y — m_2	79,0 +	41,5 —	37,5	1,79	1,64	62,5		
	A y	76,6 ± 0,8	43,9 ± 0,8	32,7	2,05	1,90	72,5	1,85	70,6
	A — m_1 y + m_2	74,2 —	46,3 +	27,9	2,36	2,21	84,2		
1 : 1,4	A + m_1 y — m_2	83,4 +	53,9 —	29,5	2,51	2,40	36,7		
	A y	79,2 ± 1,4	57,8 ± 1,3	21,4	3,15	3,04	46,5	2,89	44,1
	A — m_1 y + m_2	75,0 —	61,7 +	13,3	4,19	4,08	62,4		
1 : 0,5	A + m_1 y — m_2	84,1 +	47,1 —	37,0	1,99	1,93	18,4		
	A y	74,2 ± 3,3	54,3 ± 2,4	19,9	3,18	3,12	29,7	2,94	28,0
	A — m_1 y + m_2	64,3 —	61,5 +	2,8	7,48	7,42	70,9		

Übersicht 21

„Lehmiger Sandboden".

Verhältnis Boden : Sand	± m	Trockensubstanz in g		A — y	K_2O			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/Gefäß	dz/ha
1 : 4	$A + m_1$ $y - m_2$	78,7 +	50,8 —	27,9	0,35	0,32	10,2		
	A y	73,6 ± 1,7	55,0 ± 1,4	18,6	0,46	0,43	13,7	0,43	13,7
	$A - m_1$ $y + m_2$	68,5 —	59,2 +	9,3	0,67	0,64	20,3		
1 : 1,5	$A + m_1$ $y - m_2$	79,9 +	65,4 —	14,5	0,57	0,55	8,7		
	A y	75,7 ± 1,4	68,7 ± 1,1	7,0	0,77	0,75	11,9	0,86	13,7
	$A - m_1$ $y + m_2$	71,5 —	72,0 +	—	—	—	—		
1:0,67	$A + m_1$ $y - m_2$	78,6 +	69,4 —	9,2	0,72	0,71	7,5		
	A y	77,1 ± 0,5	70,6 ± 0,4	6,5	0,83	0,82	8,7	1,29	13,7
	$A - m_1$ $y + m_2$	75,6 —	71,8 +	3,8	1,00	0,99	10,5		
1:0,25	$A + m_1$ $y - m_2$	83,2 +	66,7 —	16,5	0,54	0,53	4,2		
	A y	78,7 ± 1,5	73,0 ± 2,1	5,7	0,88	0,87	6,9	1,72	13,7
	$A - m_1$ $y + m_2$	74,2 —	79,3 +	—	—	—	—		

Übersicht 22

„Moorboden aus Powunden".

Verhältnis Boden : Sand	± m	Trockensubstanz in g		A — y	K_2O			Mitscherlichs errechnete Werte	
		A	y		g Gefäß	g minus Blindwert	dz/ha	g/Gefäß	dz/ha
1 : 4	A + m_1 y — m_2	81,4 +	19,1 —	62,3	0,09	0,06	1,9		
	A y	79,0 ± 0,8	21,2 ± 0,7	57,8	0,10	0,07	2,2	0,07	2,2
	A — m_1 y + m_2	76,6 —	23,3 +	53,3	0,12	0,09	2,9		
2 : 3	A + m_1 y — m_2	84,7 +	30,3 —	54,4	0,15	0,13	2,1		
	A y	81,4 ± 1,1	33,6 ± 1,1	47,8	0,18	0,16	2,5	0,14	2,2
	A — m_1 y + m_2	78,1 —	36,9 +	41,2	0,21	0,19	3,0		
3 : 2	A + m_1 y — m_2	91,4 +	42,5 —	48,9	0,21	0,20	2,1		
	A y	88,7 ± 0,9	47,9 ± 1,8	40,8	0,26	0,25	2,6	0,21	2,2
	A — m_1 y + m_2	86,0 —	53,3 +	32,7	0,32	0,31	3,3		
4 : 1	A + m_1 y — m_2	98,1 +	48,0 —	50,1	0,22	0,21	1,7		
	A y	90,6 ± 2,5	54,3 ± 2,1	36,3	0,31	0,30	2,4	0,28	2,2
	A — m_1 y + m_2	83,1 —	60,6 +	22,5	0,44	0,43	3,4		
5 : 0	A + m_1 y — m_2	110,3 +	55,1 —	55,2	0,23	0,23	1,5		
	A y	96,8 ± 4,5	60,2 ± 1,7	36,6	0,33	0,33	2,1	0,35	2,2
	A — m_1 y + m_2	83,3 —	65,3 +	18,0	0,51	0,51	3,2		

Betrachtet man die oben angeführten Zahlenzusammenstellungen, so bemerkt man, daß Mitscherlichs angegebene Werte für „b" zwar in eine logarithmische Kurve passen, aber nicht mit den tatsächlich gefundenen Trockensubstanzzahlen in Einklang zu bringen sind, vielleicht mit Ausnahme für Kali beim Moorboden und für Superphosphat beim Boden von Klein-Gablick. Bei einem derartigen Berechnungsverfahren erübrigt sich selbstverständlich jede weitere Rechnung; denn liegen die Ertragswerte auf der logarithmischen Kurve, so folgt ja laut Voraussetzung, daß die entsprechenden „b"-Werte eine mit der Boden-Sandmischung lineare Änderung erfahren.

Daß diese Voraussetzung der strengen logarithmischen Beziehung nicht immer richtig ist, gesteht zwar Mitscherlich gelegentlich zu, wenn er schreibt: Die Befunde „zeigen nur, wie der Wirkungswert der Phosphorsäure infolge der Bodenzusätze zurückgeht" (35).

Entgegen den von Mitscherlich errechneten „b"-Werten entsprechen die von uns in den Übersichten unter dz ha angegebenen den tatsächlich gefundenen Erntegewichten und bestätigen weiterhin — abgesehen von den beiden Ausnahmen, unsere bisherigen Befunde.

Trotz der vielen exakten Untersuchungen erkennt Mitscherlich Scheffers Beweisführung, daß die Berechnung des „b"-Wertes nach Mitscherlich aus verschiedenen Boden-Sand-Gemischen in den meisten Fällen nicht zu gleichen Werten führt, nicht an. Er macht Scheffer weiterhin zum Vorwurf, daß er bei seiner Berechnungsweise nur von zwei Werten ausgehe, und zwar vom Mittelwert der Volldüngungs- und dem der Mangelreihe. Er ist zwar mit Recht der Ansicht, daß diese beiden Werte mit Fehlern behaftet sind und über den Verlauf der Kurve nichts absolut Sicheres aussagen können. Dazu seien, sagt Mitscherlich, eine Reihe von y-Werten notwendig, die er aus Nährstoffsteigerungen erhält. Mit Hilfe dieser Werte berechnet Mitscherlich erst den Kurvenverlauf und erhält daraus den Höchstwert A, sowie den Anfangswert a der Mangelgefäße und aus diesen beiden berechneten Werten dann erst den Nährstoffgehalt „b".

Wenn Mitscherlich nun zu seinen eigenen Kali-Untersuchungen (36) schreibt, daß die gefundenen Werte mit den berechneten innerhalb der Versuchsfehler „recht gute Übereinstimmung" zeigen, so muß doch darauf hingewiesen werden, daß hier und da beträchtliche Unterschiede auftreten, da die Abweichungen von seinen errechneten Werten teils den doppelten, aber auch des öfteren den dreifachen Fehler übersteigen.

Nur einige Beispiele aus Mitscherlichs oben angeführten Untersuchungen seien hierüber angeführt:

Übersicht 23.

Mitscherlich verwendet zur Berechnung von „b" an Stelle der gefundenen die berechneten Werte:

y gefunden	y berechnet
6,4 ± 2,4	10,8
70,6 ± 0,4	72,5
73,0 ± 2,1	74,6
70,2 ± 2,2	74,6
75,7 ± 1,4	73,7
77,7 ± 0,5	73,9
78,7 ± 1,5	75,0

Betrachten wir weiterhin die Versuchsergebnisse der ersten vier Böden Mitscherlichs, so stellen wir fest, daß zwar noch die berechneten „b"-Werte für Kali in allen Boden-Sand-Mischungen gleich hoch gefunden werden, daß aber die Untersuchungen auf Phosphorsäure bereits zu völlig anderen Werten führen.

War es bei den Kaliuntersuchungen möglich, bei ein und demselben Boden die Annäherungskurve noch mit demselben Wirkungsfaktor zu berechnen, so war Mitscherlich bei den Untersuchungen auf Phosphorsäure schon gezwungen, je nach der Boden-Sand-Mischung einen anderen Wirkungsfaktor einzusetzen.

Mitscherlich (37) schreibt hierzu selbst, daß die drei Versuche nicht zu dem gewünschten Ergebnis geführt haben. Der Grund hierfür lag darin, „daß der Wirkungsfaktor der Superphosphatdüngung nicht bei Zusätzen von Boden konstant blieb, sondern daß der Boden nachteilig auf die Ausnutzung der Phosphorsäure wirkte, der Wirkungsfaktor also abnahm".

Damit stellte also Mitscherlich in drei Versuchen selbst fest, daß in verschiedenen Boden-Sand-Mischungen der Phosphorsäuregehalt des Bodens verschieden hoch ermittelt wird.

Die von uns aus Mitscherlichs Ernteerträgen errechneten Werte bestätigen unsere bisherigen Befunde also vollkommen. Auch sie ergeben, daß insbesondere auf den mittelreichen und reichen Mineralböden die aus den verschiedenen Boden-Sand-Mischungen gefundenen Werte sehr stark von einander abweichen und relativ um so mehr Phosphorsäure und Kali gefunden wird, je stärker der Boden mit Sand verdünnt ist.

Man kann nun allerdings mit Recht sagen, daß bei der Verarbeitung des Versuchsmaterials unsererseits die dazugehörigen Fehler außer Acht gelassen sind.

Mitscherlich empfiehlt daher, den zu „b" gehörigen Fehler derart in Rechnung zu stellen, daß die A- und y-Werte einmal plus dem dreifachen mittleren Fehler, das andere Mal minus dem dreifachen m-Wert gegenseitig in Beziehung gebracht werden. Damit soll man dann die Grenzen erhalten, innerhalb deren die „b"-Werte nach Mitscherlich schwanken. Diese Berechnungsart dürfte aber doch wohl zu streng sein; denn sie würde schließlich dazu

führen, daß der Methode Mitscherlich auch hierdurch jeglicher praktischer Wert genommen würde.

Betrachten wir einmal die „b"-Werte in den Übersichten 16 bis 22, die nach Mitscherlichs Vorschlag unter Zugrundelegung von ± 3 m errechnet wurden. Wir ersehen daraus, daß die auf diese Art gefundenen „b"-Werte teilweise außerordentlich beträchtlich schwanken. Wenn z. B. auf einem Boden der gefundene „b"-Wert für Kali von 1,62 dz/ha bis 7,88 dz/ha schwankt, so dürfte es unmöglich sein, den Landwirt auf Grund derartiger Werte für „b" zu beraten. Da der Grenzwert für Kali bei 4 dz/ha liegt, ist dieser Boden einmal stark bedürftig, andererseits aber auf Vorrat damit versehen. Sehen wir uns weiter die Werte des Bodens von „Klein-Gablick" an, die zwischen 3 dz/ha — 12 dz/ha für Phosphorsäure schwanken, obwohl die Fehler garnicht allzu groß sind, so wird tatsächlich auch hierdurch die Auswertung der Methode Mitscherlichs für die Praxis in Frage gestellt.

Würde man daher Mitscherlichs Rat folgen, die Schwankungen für „b" in der angegebenen Weise zu berechnen, so käme man zu einer restlosen Ablehnung der Methode Mitscherlichs. Denn trotz normaler Versuchsfehler wäre es dann nicht möglich, einen einigermaßen brauchbaren Wert für „b" zu erhalten.

Es dürfte daher wohl die Festlegung der Fehlergrenze mit ± 3 m eine zu strenge sein, und es ist deshalb schon richtiger, wenn man einem aus 6 Beobachtungen gefundenen Mittelwert, wie er bei den Untersuchungen Scheffers und auch der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt wurde, etwas mehr Gewicht beimißt, als dies durch Mitscherlich getan wird.

B. Zusammenfassung.

Die vorliegenden Untersuchungen beweisen also, daß sich bei Boden-Sand-Mischungen das pflanzenverfügbare Nährstoffkapital „b" mit geringer werdender Bodenmenge relativ erhöht oder mit größer werdender Bodenmenge relativ verringert, und daher in sehr vielen Fällen nicht in linearer Beziehung zur angewandten Bodenmenge steht.

Sie sind somit eine Bestätigung der Untersuchungen Reitmairs, Kroßs und Scheffers.

Sie ergeben weiterhin, daß die im Boden vorhandenen Bodennährstoffmengen der hyperbolischen Funktion Vagelers zu gehorchen scheinen. Nur für absorptionsschwache Sandböden, Sandkulturen oder Wasserkulturen dürfte die logarithmische Berechnungsweise Mitscherlichs Gültigkeit behalten.

Da nun aber jeder Boden mehr oder weniger stark Dünger- und Bodennährstoffe gleichzeitig enthält, wird eine rechnerische Bestimmung von „b" durch eine Kombination der logarithmischen und hyperbolischen Funktion zweckmäßig sein.

Andererseits ergibt sich, daß jede Umrechnung von einer Boden-Sand-Mischung auf reinen Boden nach bisheriger Art, wie es auch Neubauer tut, zu falschen Werten führen muß.

Es wäre daher im Interesse der endgültigen Klärung der Nährstoffbestimmungsmethodenfrage in Deutschland von Wichtigkeit, dieses Problem auch einmal von der in dieser Arbeit beleuchteten Seite zu betrachten und zu versuchen, von hier aus die noch bestehenden Schwierigkeiten und Unstimmigkeiten zu beseitigen.

Aber nicht nur für die Lösung der Nährstoffbestimmungsmethodenfrage — für die außerdem noch andere wichtige Gesichtspunkte, wie Untergrundverhältnisse usw. viel stärker herangezogen werden müssen — hat das Problem der „Boden-Sand-Verdünnung" große Bedeutung, sondern auch für die praktische Landwirtschaft in den deutschen Marschen und allen Gebieten mit zu schweren Böden. In den letzten Jahren wurden in den Marschen nämlich bereits 8400 ha Land mit Blausand „bepüttet", d. h. verdünnt und dadurch ein Mehrertrag von ca. 30% in den Ernten erzielt. Gewiß ist dieser Mehrertrag zu einem großen Teil auf die Verbesserung der allgemeinen Bodeneigenschaften zurückzuführen, aber ein guter Teil an diesem Mehrertrag wird auch durch die bessere Nährstoffausnutzungsmöglichkeit durch die Blausand-Verdünnung hervorgerufen worden sein. Da in Deutschland allein von den Marschen nach etwa 390000 ha püttwürdig sind, dürfte die Tatsache der besseren Nährstoffaufnahmemöglichkeit durch eine Bodenverdünnung mit Sand — d. h. also, durch eine Schwächung der dynamischen Kräfte des Bodens — auch volkswirtschaftlich gesehen noch von erheblicher Bedeutung sein.

Am Schluß dieser Arbeit sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. F. Scheffer für die Überlassung der Arbeit und für die weitgehende Anregung und Unterstützung in jeder Hinsicht meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Weiterhin drängt es mich, dem Direktor des Institutes, Herrn Profeffor Dr. Th. Roemer für seine stets großzügige Unterstützung und Förderung ebenfalls zu danken.

Außerdem bin ich noch den Herren, Privatdozent Dr. Rauterberg, Dr. A. Kawe und Dr. E. Morgenroth für ihre Hilfsbereitschaft zu Dank verpflichtet.

Literatur.

1. Mitscherlich, E. A.: Bodenkunde für Landw. u. Forstw. P. Parey, Berlin 1913, S. 6.
2. Wiegner, G.: Boden und Bodenbildung in kolloidchemischer Betrachtung. Th. Steinkopf, Dresden-Lepzig 1924.
3. Vageler, P.: Kationen und Wasserhaushalt des Bodens. Springer, Berlin 1933.
4. Kroß, W.: Untersuchung über die Neubauersche Keimpflanzenmethode. Landw. Jahrb. 63 (1927), S. 277 u. f.
5. Kruppa, H.: Eine Studie über das Bodenuntersuchungsverfahren von Prof. Neubauer. Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenk. 1926 A 7.
6. Neubauer, H. und Schneider, W.: Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenkd. 1923 A, S. 329 u. f.
7. Kroß, W.: Vgl. Nr. 4.
8. Neubauer, H. und Schneider, W.: Vgl. Nr. 6.
9. Kroß, W.: Vgl. Nr. 4.
10. Mitscherlich, E. A.: Die Bestimmung des Kalivorrates nach Mitscherlich. Die Ernährg. d. Pflanze (1934) Heft 10. Die pflanzenphysiologische Lösung der chemischen Bodenanalyse. Landw. Jahrb. 1923, 58. Die Bestimmung des Düngebedürfnisses des Bodens. P. Parey, Berlin 1924.
11. Vageler, P.: Vgl. Nr. 3.
12. Scheffer, F.: Bestimmung des Nährstoffvorrates im Feld- und Gefäßversuch. Kühn-Archiv 1933, 38, S. 141 u. f.
13. Vageler, P.: Vgl. Nr. 3.
14. Neubauer, H. und Schneider, W.: Vgl. Nr. 6.
15. Kroß, W.: Vgl. Nr. 4.
16. Reitmair, O.: Berichte Landw. Versuchsstationen, Wien 1907. Ztschr. f. d. landw. Versuchswesen 11. 1908.
17. Scheffer, F.: Vgl. Nr. 12.
18. Mitscherlich, E. A.: Vgl. Nr. 10.
19. Scheffer, F.: Vgl. Nr. 12.
20. Mitscherlich, E. A.: Vgl. Nr. 10.
21. Wießman, H.: Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden durch den Gefäßversuch. Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenk. 1929, B. 8.
22. Maiwald, K.: Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenkde. 1928, B.

23. Lemmermann, O.: Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenkunde 1928, B. 7.

24. Gerlach, M.: Zur Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. Landw. Jahrb. 65. 1927, S. 101 u. f.

25. Rippel, A.: Ztschr. f. Pflanzenernähr. u. Düngg. u. Bodenkde. 1926/27, A. 8.

26. Jessen, W.: Die Inkonstanz des Stickstoff- und Kaliwirkungsfaktors und ihre praktische Bedeutung.
Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenkde. 1932, A. 23.

27. Mitscherlich, E. A.: Ztschr. f. Pflanzenernähr., Düngg. u. Bodenkunde 1929, A. 15.
Landw. Jahrb. 1930, 71.
Ztschr. f. Pflanzenernähr. 1930, A. 18.
Biederm. Zentralbl. 59.

28. Behrens, W. U.: Vgl. Nr. 27.

29. Scheffer, F.: Ztschr. f. Pflanzenernähr. 1928, B. 8.

30. Lemmermann, O.: Für oder wider das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren.
Ztschr. f. Pflanzenernähr. B. 7, H. 8.

31. Mitscherlich, E. A.: Vgl. Nr. 10.

32. Scheffer, F.: Vgl. Nr. 12.

33. Scheffer, F.: Vgl. Nr. 12.

34. Scheffer, F.: Vgl. Nr. 12.

35. Mitscherlich, E. A.: Vgl. Nr. 10.

36. Mitscherlich, E. A.: Vgl. Nr. 10.

37. Kawe, A.: Methode zur Bestimmung des Düngebedürfnisses eines Bodens für Kali und Phosphorsäure mit Hilfe der Bodenlösung. Kühn-Archiv 39 (1935).

Lebenslauf.

Am 16. März 1912 wurde ich in Magdeburg als Sohn des Mittelschullehrers Wilhelm Plate geboren. Nach Ablegung des Abiturs im Frühjahr 1930 in Genthin erlernte ich die Landwirtschaft auf dem Rittergute Neuermark.

1932 begann ich mein Studium in Jena, um es im Februar 1935 in Halle mit dem Bestehen des Diplomexamens zu beschließen.

Anschließend war ich als Assistent am Institut für Pflanzenbau in Halle tätig und arbeitete gleichzeitig an der vorliegenden Arbeit.

Seit Februar 1936 bin ich Assistent am Institut für Pflanzenernährung und Bodenbiologie in Berlin-Dahlem.

Horst Plate.